

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інженерно-фізичний факультет

Кафедра ливарного виробництва чорних і кольорових металів

«На правах рукопису»
УДК 621.745.55

До захисту допущено
Завідувач кафедри
М. М. Ямшинський
(ініціали, прізвище)

(підпис)

“ ____ ” _____ 2018 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 136 – Металургія
(код та назва спеціальності)

на тему: «Формування структури виливка при фізичному впливі на розплав»

Виконав студент 6-го курсу, групи ФЛ-61м

Демиденко Дмитро Анатолійович
(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Науковий керівник

д.т.н., проф. Могилатенко В.Г.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Консультант
з організаційно-
економічної
частини

к.е.н., ст.викл. Нарасвський С.В.
(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультант
з нормоконтролю

к.т.н., доц. Федоров Г.Є.
(вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент

к.т.н., доц. Доній О.М.
(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших
авторів без відповідних посилань.
Студент _____
(підпис)

Київ – 2018 р.

**Національний технічний університет України
“Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського”**

Факультет Інженерно-фізичний

Кафедра Ливарного виробництва чорних і кольорових металів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність 136 – Металургія

Спеціалізація Ливарне виробництво та комп'ютеризація процесів лиття

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

М. М. Ямшинський

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ ” _____ 2018 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ ДИСЕРТАЦІЮ СТУДЕНТУ**

Демиденку Дмитру Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації: «Формування структури виливка при фізичному впливі на розплав».

науковий керівник: Могилатенко В. Г., д.т.н., професор.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «22» березня 2018 року №994-с

2. Термін подання студентом дисертації 12 травня 2018 року

3. Об'єкт дослідження: процеси кристалізації розплавів на основі тіосульфату натрію.

4. Предмет дослідження: кінетика кристалізації.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 5.1 Опрацювати та проаналізувати літературу за темою дослідження; 5.2 Оптимізувати методику дослідження; 5.3 Виготовити кристалізатори; 5.4 Провести експериментальні дослідження; 5.5 Дослідити вплив, введених в розплав, дрібнодисперсних тугоплавких частинок на кінетику кристалізації; 5.6 Дослідити вплив вібрації на розплав, під час його кристалізації; 5.7 Розробити організаційно-економічну частину; 5.8 Розробити бізнес-проект; 5.9 Сформулювати загальні висновки та рекомендації.

6. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація 16 слайдів.

7. Перелік публікацій: 7.1 Твердіння при обробці розплаву тіосульфату натрію вібрацією/ Демиденко Д.А., Могилатенко В.Г. // X Міжнародна науково-технічна конференція «Нові матеріали і технології в машинобудуванні – 2018» – 24...25 квітня 2018р. – с. 211-212; 7.2 Твердіння при обробці розплаву тіосульфату натрію дисперсними тугоплавкими частинками/ Демиденко Д.А., Могилатенко В.Г. // VII Науково-практична конференція молодих вчених «Нові ливарні технології і матеріали у машинобудуванні» – 29...30 травня 2018р., ФТІМС НАН України.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада Консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Організаційно-економічна частина	Нараєвський С.В., старший викладач		
Нормоконтроль	Федоров Г.Є., доцент		

9. Дата видачі завдання 5 вересня 2016 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Науково-дослідна робота студента	05.09.16...26.05.17р.	
2	Переддипломна науково-дослідна практика	05.02...09.03.2018р.	
3	Опрацювання та аналіз літератури за темою дослідження	06.02...16.03.2018р.	
4	Оптимізація методики дослідження	06.02...10.02.2018р.	
5	Виготовлення кристалізаторів	05.02...12.03.2018р.	
6	Проведення експериментів	12.03...26.04.2018р.	
7	Аналіз результатів досліджень	09.04...03.05.2018р.	
8	Виконання організаційно-економічної частини	02.05...07.05.2018р.	
9	Виконання ілюстративної частини роботи	07.05...11.05.2018р.	
10	Оформлення магістерської дисертації	19.02...11.05.2018р.	
11	Подання магістерської дисертації до захисту	15.05.2018р.	
12	Рецензування магістерської дисертації	16.05...18.05.2018р.	
13	Захист магістерської дисертації	22.05.2018р.	

Студент

(підпис)

Демиденко Д.А.
(прізвище та ініціали)

Науковий керівник

(підпис)

Могилатенко В.Г.
(прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація: 90 с., 17 рис., 19 табл., 52 посилання, 2 додатки.

Об'єкт дослідження – процеси кристалізації розплавів на основі тіосульфату натрію.

Предмет дослідження – кінетика кристалізації.

Метою даної роботи є дослідження кристалізації при фізичному впливі на розплав і утворення дендритної структури на прозорих моделях.

Результат дослідження: проведено аналіз зростання кристалічного шару моделюючої речовини при фізичному впливі на розплав та отримано дані щодо кінетики росту твердої фази.

Актуальність роботи полягає в тому, що під час процесу кристалізації розплаву формується безпосередньо структура майбутнього виливка. В даній роботі розглядаються питання щодо підвищення властивостей вихідної продукції шляхом фізичного впливу на розплав та його модифікування.

Галузі застосування: металургія, машинобудування.

КРИСТАЛІЗАЦІЯ, ВИЛИВОК, КРИСТАЛІЗАТОР, ВІБРАЦІЯ, МОДИФІКУВАННЯ, КІНЕТИКА КРИСТАЛІЗАЦІЇ, РОЗПЛАВ.

ABSTRACT

Master's dissertation: 90 p., 17 figures, 19 tables, 52 references, 2 attachments.

The object of the study is the crystallization processes of sodium thiosulfate.

Subject of research – kinetics of crystallization.

The purpose of this work is to study crystallization with a physical effect on the melt and the formation of dendritic structure on transparent models.

The result of the study: an analysis of the growth of the crystalline layer of the simulant under physical influence on the melt has been carried out and data on the growth kinetics of the solid phase have been obtained.

The urgency of the work is that during the process of crystallization of the melt, the structure of the future casting is formed directly. In this paper, the issues of increasing the properties of output products by physical influence on the melt and its modification are considered.

Areas of application: metallurgy, mechanical engineering.

CRYSTALLIZATION, CASTING, CRYSTALIZER, VIBRATING,
MODIFICATION, CRYSTALLIZATION KINETICS, MELT.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	11
1.1 Постановка завдання дослідження.....	11
1.2 Теорія зародкоутворення в сплавах.....	12
1.2.1 Гетерогенне утворення зародків.....	13
1.2.2 Гомогенне утворення зародків.....	16
1.3 Кристалізація і утворення дендритної структури.....	18
1.4 Способи подрібнення структури сплавів і їх властивості.....	22
1.4.1 Модифікування структури сплавів ПАР.....	23
1.4.2 Модифікування дисперсними тугоплавкими частинками.....	24
1.4.3 Вібробробка та ультразвукова обробка розплаву.....	25
1.4.4 Вплив електричного струму на структуру сплавів.....	28
1.4.5 МГД обробка розплавів.....	31
1.5 Кристалізація прозорих моделей.....	32
1.6 Висновки до розділу.....	35
2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ.....	38
2.1 Виготовлення кристалізаторів.....	38
2.2 Принцип роботи електродинамічного вібраційного стенду.....	39
2.3 Методика проведення дослідження.....	41
2.4 Висновки до розділу.....	42
3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	43
4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	57
4.1 Науково-технічна актуальність теми дослідження.....	57
4.2 Мета і завдання магістерської дисертації.....	57
4.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження.....	58

4.3.1	Визначення заробітної плати науково-дослідницького персоналу.....	58
4.3.2	Визначення розміру єдиного соціального внеску.....	60
4.3.3	Визначення вартості матеріалів і напівфабрикатів для виконання МД.....	60
4.3.4	Визначення вартості спеціального обладнання і приладів.....	61
4.3.5	Визначення вартості робіт і послуг сторонніх організацій.....	62
4.3.6	Визначення витрат на службові відрядження.....	62
4.3.7	Визначення інших прямих неврахованих витрат.....	62
4.3.8	Визначення накладних витрат.....	62
4.3.9	Визначення планової кошторисної вартості МД.....	62
4.4	Визначення очікуваних результатів МД та розрахунок показників економічної ефективності.....	63
4.5	Висновки до розділу.....	67
5	ОХОРОНА ПРАЦІ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ.....	68
5.1	Охорона праці.....	68
5.2	Аналіз умов праці.....	68
5.3	Шкідливі виробничі фактори.....	69
5.4	Вимоги безпеки та захист від електромагнітного випромінювання...	69
5.5	Висновки до розділу.....	71
6	БІЗНЕС-ПРОЕКТ.....	72
6.1	Команда.....	72
6.2	Назва проекту.....	72
6.3	Короткий опис проекту.....	72
6.4	Бізнес-модель.....	73
6.4.1	Коштовий продукт.....	73
6.4.2	Сегмент споживачів (потенційні клієнти).....	73
6.4.3	Канали збуту.....	73
6.4.4	Взаємодія зі споживачами.....	74
6.4.5	Дохід (монетизація).....	74

6.4.6 Ключові види діяльності.....	74
6.4.7 Ключові партнери.....	74
6.4.8 Витрати.....	74
6.5 Дослідження ринку.....	74
6.6 Маркетингова стратегія просування.....	74
6.7 Елементи фінансового плану.....	75
6.7.1 Опис бізнес-проекту.....	75
6.7.2 Фінансовий план.....	75
6.8 Подальші кроки в проекті.....	75
6.8.1 Наукова діяльність.....	75
6.8.2 Організаційна діяльність.....	76
6.8.3 Маркетингова діяльність.....	76
6.8.4 Комерційна діяльність.....	76
ВИСНОВКИ.....	77
РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	80
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	81
Додаток А.....	87
Додаток Б.....	89

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ

с – секунда

хв – хвилина

л – літр

кг – кілограм

г – грам

грн – гривня

мкм – мікрометр

мм – міліметр

°С – градус Цельсія

об.% – об'ємний відсоток

мм/с – міліметри за секунду

л/хв – літри за хвилину

ПАР – поверхнево-активна речовина

ГОСТ – Міждержавний стандарт

ДСТУ – Державний стандарт України

ВСТУП

Ускладнення умов експлуатації деталей потребує підвищення механічних характеристик матеріалів і їх надійності. Досягнення високих механічних та експлуатаційних властивостей можливе різними способами, одним з яких є методи фізичного впливу на рідкий метал як в процесі плавки, так і кристалізації. В результаті цього ми отримуємо модифікування, тобто подрібнення, структури сплаву.

Останнім часом підвищення механічних характеристик сплавів на основі алюмінію здійснюють додаванням дисперсних порошків тугоплавких металів та їх поєднань різної дисперсності. Найбільші такі частинки можуть виконувати роль центрів кристалізації, або обмежувати ріст фаз в процесі твердіння. З іншого боку, подрібнити структуру можна перемішуванням, обробкою розплаву або вилівка вібрацією, ультразвуком та іншими фізичними впливами на метал, що кристалізується.

Якщо обробка дисперсними тугоплавкими частинками сприяє подрібненню як первинних фаз так і евтектичних (як, наприклад, первинного кремнію та евтектичних складових в заевтектичних силумінах), то фізичний вплив на розплав в процесі кристалізації вилівка призводить, перш за все, до обламування кристалів, які ростуть від стінок форми, котрі також можуть виступати в ролі додаткових центрів кристалізації.

Проведення дослідів з використанням рідкого металу в теперішній час потребує великих економічних затрат, тому більшість дослідників використовують комп'ютерне та фізичне моделювання процесів для визначення загальних характеристик вилівка або технології його отримання з наступною постановкою натурного експерименту на рідкому металі.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Постановка завдання дослідження

Загалом дані на користь теорії зародкоутворення досить істотні, і фактично ця теорія прийнята на озброєння багатьма дослідниками. Варто підкреслити, що навіть якщо теорія і не правильна, функціональне відношення, яке вона дає, підтверджується значним експериментальним матеріалом. А це саме по собі виправдовує широке застосування цієї теорії для інтерпретації експериментальних результатів [1].

Буває гомогенне і гетерогенне утворення зародків кристалізації. Гомогенна система – термодинамічна система, всередині якої немає поверхонь поділу, що відділяють частини системи одна від одної. Гетерогенна система – це неоднорідна термодинамічна система, яка складається з однорідних фаз, розділених поверхнею поділу.

Процес кристалізації починається з утворення зародків — центрів кристалізації, якими можуть бути групи елементарних кристалічних ґраток, тугоплавкі неметалічні включення або домішки. Найчастіше кристалізація починається від стінок ливарної форми. Кристали з найбільшою швидкістю ростуть у напрямі, протилежному до напрямку відведення тепла, тобто перпендикулярно до стінок форми. Швидкість тужавіння залежить від швидкості росту кристалів, яка обумовлена як швидкістю охолодження, так і числом центрів кристалізації. Від цього залежить і характер структури, що утвориться.

Враховуючи велику вартість проведення плавок, підготовки зразків і неможливість спостереження кінетики кристалізації і твердіння металевих сплавів, використання методу дослідження кристалізації на прозорих моделях є обґрунтованим.

Завданням даної роботи є дослідження кристалізації при фізичному впливі на розплав і утворення дендритної структури на прозорих моделях.

1.2 Теорія зародкоутворення в сплавах

Теорія зародкоутворення стверджує, що для того, щоб плівка була стійкою, необхідно подолати певний потенційний бар'єр. Якщо цей бар'єр зародкоутворення, то плівка на початкових стадіях зростання буде мати острівкову структуру. Структурні сліdstва, обумовлені наявністю бар'єра зародкоутворення, можна з'ясувати, розглядаючи два граничних випадки: перший – випадок дуже великого бар'єру зародкоутворення, тобто великого критичного зародку з високою позитивною вільною енергією утворення, а другий – дуже малого бар'єру зародкоутворення [2].

Схематичне зображення зміни вільної енергії ΔG при збільшенні розміру зародка, зображено на рис. 1.1 [3].

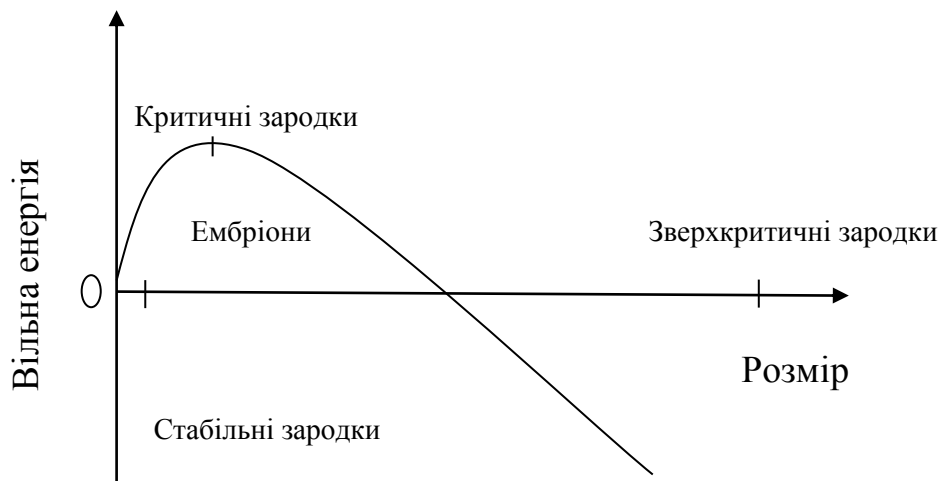


Рисунок 1.1 – Схематичне зображення зміни вільної енергії при збільшенні розміру зародка.

У роботі [4] говориться, що ще одним важливим наслідком теорії зародкоутворення в розплавах і розчинах є те, що зі зміною ступеня переохолодження швидкість утворення зародків проходить через максимум.

Зародкоутворення починається з того, що на поверхні виникає скупчення атомів, котрі затримуються в потенціальних ямах, розташовуючись на відстанях, кратних міжатомним відстаням основи. Між атомами в скупченні виникають сили хімічного зв'язку, які намагаються зблизити ці атоми. Однак

взаємодія адсорбованих атомів поверхні основи призведе до появи сил, направлених в протилежний напрямок і які намагаються розтягнути скупчення. Джерелом цих сил є те, що мінімум вільної енергії поверхні розділу «скупчення – основа» спостерігається тоді, коли адсорбовані атоми точно розташуються в потенціальних ямах і взаємодія між ними мінімальна. Тому поява скупчень атомів призводить до збільшення вільної енергії системи. Виникаючі сили поверхневого натягу на межі «скупчення-пар» і «скупчення-основа» намагаються стягнути скупчення в компактне утворення – зародок. Їм протидіють сили поверхневого натягу основи [5].

1.2.1 Гетерогенне утворення зародків

Основною перешкодою на шляху фазових перетворювань є необхідність утворення центрів нової фази або зародку нової фази.

Центри чи зародки нової фази утворюються на макроскопічній поверхні основи, і їх утворення багато в чому залежить від поля сил цієї поверхні, і їх зародження являється гетерогенним.

Зародкоутворення починається з того, що на поверхні виникає скупчення атомів, котрі затримуються в потенціальних ямах, розташовуючись на відстанях, кратних міжатомним відстаням основи. Між атомами в скупченні виникають сили хімічного зв'язку, які намагаються зблизити ці атоми. Однак взаємодія адсорбованих атомів поверхні основи призведе до появи сил, направлених в протилежних напрямках і які намагаються розтягнути скупчення. Джерелом цих сил є те, що мінімум вільної енергії поверхні поділу «скупчення – основа» спостерігається тоді, коли адсорбовані атоми точно розташуються в потенціальних ямах і взаємодія між ними мінімальна. Тому поява скупчень атомів призводить до збільшення вільної енергії системи. Сили, поверхневого натягу, що виникли на межі «скупчення - пара» і «скупчення - основа» намагаються стягнути скупчення в компактне утворення – зародок. Їм протидіють сили поверхневого натягу основи [6].

Припущення, що процес кристалізації полягає в утворенні центрів (зародків) кристалізації і в їх зростанні, вперше висловив більше 100 років тому Д. К. Чернов.

Перехід металу з рідкого або пароподібного стану в твердий (кристалічний) стан називається первинною кристалізацією. Утворення нових кристалів у твердому тілі називають вторинною кристалізацією. Процес кристалізації, як установив Д. К. Чернов, здійснюється в два етапи:

- виникнення центрів кристалізації (зародків);
- зростання кристалів з утворених центрів.

Розрізняють два варіанти зародження кристалів - гомогенне (в об'ємі рідкої фази) і гетерогенне (на поверхні твердих частинок, неметалевих включень, стінок виливниць та ін.) [7].

Гетерогенне утворення зародків істотно впливає на фазові перетворення в реальних твердих сплавах. Відомо, що перетворення переохолодженого аустеніту при температурах, при яких швидкість утворення перліту найбільша (для сталі евтектоїдного складу при 600°C), починається з утворення зародків переважно на межах зерен. У процесах розпаду виділення надлишкових фаз часто спостерігається по межах зерна або уздовж площин ковзання, де пройшла пластична деформація. Кількісна оцінка показує, що в багатьох випадках має місце гетерогенне створення зародків, при цьому центрами утворення зародків є дефекти структури [8].

Передумовою гетерогенного утворення зародків (наприклад, краплі на підкладці даного чужорідного кристала), є змочуваність. У такому випадку процес утворення зародків визначається в першу чергу міжфазною енергією на межі кристал - рідина. Тому утворення зародків в значній мірі визначається міжатомними силами взаємодії між частинками всередині маткової фази, з одного боку, і підкладинки, з іншого. Якщо сили між частинками зародків фази і підкладинки більші, ніж міжчастинкові сили всередині маткової фази, тоді гетерогенне утворення зародків має енергетичну перевагу перед гомогенним, так як завдяки цьому досягається зменшення вільної енергії [9].

Процес гетерогенного утворення зародків кристалів є першою стадією виникнення катодного осаду на індиферентній підкладинці. Індиферентними підкладками вважають такі підкладки, що покриті оксидними плівками [10].

Розглянемо випадок гетерогенного утворення зародків з переохолодженого розплаву. Швидкістю утворення зародків називають число зародків, що утворюються на одиниці поверхні підкладки в одиницю часу. Зазвичай приймають, що зародки виникають і стають центрами фазового перетворення або ж розпадаються в результаті ряду реакцій [11].

Вивчаючи гетерогенне утворення зародків постає завдання, що відноситься до визначення числа активних центрів на одиниці поверхні, уточненню їх природи та класифікації речовин за їхньою здатністю впливати на фазові перетворення. Важливо знайти кількісні залежності, що дозволяють розраховувати ступінь впливу домішок на швидкість виникнення центрів кристалізації [12].

Структура і властивості епітаксійних плівок визначаються головним чином двома процесами: утворенням зародків нової фази на підкладці з їх подальшим зрощенням. Оскільки основні закономірності початкової стадії кристалізації речовин різної природи практично однакові, тут викладаються в основному результати для найбільш досліджених металів і іонних кристалів [13].

Слід зауважити, що процес утворення кристалів на поверхні іншого тіла залежить від того, наскільки близькі їхні кристалічні структури і міжатомні відстані. Істотний вплив на цей процес надають домішки як розчинні, так і нерозчинні. Саме впливом домішок пояснюються розбіжності між експериментальними даними, що стосуються визначення швидкості утворення зародків і розмірів метастабільної області. Встановлено, що в міру зменшення в розплавах кількості нерозчинних домішок збільшується ширина метастабільної області. При наявності ж в розплаві включень, що мають кристалографічну спорідненість з утворюваною фазою, ширина метастабільної області зменшується, що призводить до менших переохолоджень, необхідних для

виникнення зародків кристалів. Зауважимо, що домішки як би отруюють зародки і для досягнення заданої швидкості протікання процесу доводиться значно збільшувати переохолодження [14].

1.2.2 Гомогенне утворення зародків

Гомогенне утворення зародка може відбуватися лише в разі, коли раптово встановлюється настільки висока ступінь пересичення, що виділення на поверхні починає визначатися вже не утворенням зародків, а підведенням частинок [15].

При гомогенному утворенні зародків можлива поява великих кристалів, наприклад, завдяки осадженню на межі поділу фаз число окремих частинок при сприятливому їх підводі залишатиметься постійним, так що ця умова буде виконана. При гетерогенній кристалізації число окремих частинок може зберігатися постійним, проте великі кристали не можна вважати віддаленими від системи, ця умова дотримується, коли величина зародків мала в порівнянні з відстанями між ними [16].

У класичній теорії зародкоутворення звичайно розглядається гомогенне утворення стабільного твердого зародка нової фази, що здійснюється в результаті виникнення серії сприятливих енергетичних флуктуації. Однак в більшості випадків, як уже зазначалося, в твердій фазі має місце гетерогенне зародження, що супроводжується меншою роботою утворення зародка. Якщо такі зародки можуть утворюватися з існуючих дефектів без термічної активації, то можна говорити про те, що утворення зародка в класичному сенсі взагалі не потрібне [17].

Гетерогенне утворення зародків на дефектах решітки відбувається при більш низьких пересиченнях, ніж гомогенне утворення твердих зародків в сформованих кристалічних ділянках; останній процес можливий лише при більш високих пересиченнях. В обох випадках вільна енергія утворення зародків залежить як від енергії деформації, обумовленої зміною обсягу, так і

від ефекту невідповідності на поверхні розділу між двома решітками. Набарро показав, що енергія деформації впливає на форму частинки. Якщо нова фаза когерентна з вихідною ґраткою, то енергія деформації максимальна для частинок сферичної форми і знижується до однієї п'ятої цієї величини для тонких пластинок. Енергія деформації істотно знижується тільки в тих випадках, коли нова фаза некогерентна з вихідною ґраткою. Таким чином, енергія деформації сама по собі сприяє утворенню некогерентних пластинчастих зародків. Однак вільна енергія поверхні розділу двох решіток підвищується при некогерентності останніх на величину, приблизно рівну теплоті плавлення моноатомного шару, і це сприяє утворенню когерентних пластинчастих зародків. Для зародків однакових розмірів вплив однієї тільки вільної енергії поверхні розділу сприяє утворенню сферичних зародків. Таким чином, у критичного зародка буде проявлятися тенденція до когерентності і сферичній формі при високих пересиченнях, коли цей зародок малий, і до некогерентності і більш плоску форму при низьких пересиченнях, коли він містить більше число атомів [18].

Швидкість гомогенного утворення зародків кристалів, що випадають з розплаву, може бути визначена, оскільки рух атомів в рідкій фазі є активованим. В цьому випадку вираз для швидкості зародкоутворення має включати величину вільної енергії активації, що відповідає процесу перенесення атомів вихідної рідкої фази до поверхні зростаючого кристала. [19].

Нижче метастабільної зони може відбуватися гомогенне утворення зародків. Швидкість цього процесу досягає максимуму, а при подальшому зниженні температури знову знижується внаслідок високої в'язкості розплаву. Крива швидкості росту кристалів також має максимум через уповільнення дифузійних процесів, але ця крива починається вже при нескінченно малих переохолодженнях, при цьому контрольоване утворення зародків в склі досягається шляхом проведення певного температурного режиму з урахуванням швидкості утворення зародків і швидкості їх зростання як функції температури [20].

При наявності зарядів, наприклад, вільних іонів в атмосфері, утворення зародків не вимагає флуктуації: крапельки рідкої фази виникають в результаті конденсації на іонах, як ядрах конденсації. Такі крапельки ростуть мимовільно у всій області розмірів. Для подальшого їх зростання потрібна флуктуація, в результаті якої зародки виростають, далі збільшуються мимовільно. Робота флуктуації в цьому випадку значно менша, ніж при гомогенному утворенні незаряджених зародків. Здатність електричних зарядів полегшувати виникнення зародків нової фази (знижувати роботу їх утворення) лежить в основі роботи таких приладів, як камера Вільсона і бульбашкова камера. У камері Вільсона інтенсивна конденсація пари викликається іонами, які створює пролітаюча частка на своєму шляху. Траєкторії польоту частинок робляться видимими (унаслідок розсіювання світла), що дозволяє виявити присутність елементарних частинок і встановити їх характер [21].

Раніше вже зазначалося, що в природних процесах гомогенне утворення зародків є винятком і що в більшості випадків місцями приєднання атомів є поверхні, вже наявні у вихідному середовищі. Особливо це відноситься до рідких зародків, які майже завжди виникають на порошинках або інших зважених частинках. Якщо останні не видалені застосуванням спеціальних заходів, що в розчинах майже не вдається, то крива метастабільності наближається впритул до кривої співіснування фаз. Оскільки такі зважені частинки в більшості випадків менш дієві щодо утворення кристалічних зародків, якщо тільки вони не ізоморфні, то гранична крива твердої фази майже не змінює свого положення [22].

1.3 Кристалізація і утворення дендритної структури

Дендритна кристалізація чітко виражена в умовах нестачі рідкого металу для заповнення простору (поверхневі шари, усадкова раковина) і при наявності домішок і сторонніх атомів в розплаві (кристалізація реальних сплавів).

Оскільки кристали литого металу є, найчастіше, дендритами то загальну

картину формування зерен твердого розчину в процесі кристалізації сплаву можна представити в такий спосіб. На першому етапі утворення зерна кристалізуються осі першого порядку, що і будуть максимально збагачені тугоплавким компонентом. Концентрація легкоплавкого компонента зростає від осьових до периферійних ділянок дендритних галузей. Коли кристалізація завершується і кристалики приходять у зіткнення, шари, що на межі кристалів виявляються збагаченими легкоплавким компонентом. Швидкість твердофазної дифузії на кілька порядків нижча, ніж швидкість дифузії в рідині і лінійної швидкості кристалізації. Хімічна неоднорідність зерен твердого розчину зберігається, в основному, не тільки до моменту завершення кристалізації, але й у процесі охолодження вже затверділого сплаву. Цю неоднорідність називають внутрішньо кристалічною чи дендритною ліквідацією. Така схема кристалізації є принципово вірною і підтверджується результатами мікроскопічних спостережень [23].

Виникнення зони концентраційного переохолодження приводить до того, що плоска форма фронту кристалізації стає не стійкою. Любий виступ, що утворився на поверхні кристалічної фази, попадає в більш сприятливі для росту умови. Рідина, що омиває його, більш переохолоджена, чим рідина перед плоским фронтом кристалізації. В міру росту виступу через відтискування домішок відбувається їхнє нагромадження з бічних сторін і основи виступу. У зв'язку з цим процес твердіння з боку основи виступу затримується, що сприяє виникненню навколо початкового виступу нових опуклостей. Плоский фронт кристалізації перетворюється в систему виступів, що мають вид осередків. У міру того як вершини осередків просуваються в розплав, їх гладкі бічні поверхні, у свою чергу, здобувають рельєф, що складається з осередків. Поступово розвивається дендритна розгалужена структура фронту кристалізації[24].

При дендритній кристалізації майже неможливо забезпечити приплив розплавленого металу до всіх частин дендрита, завдяки цьому по межах зерен і між гілками дендритів можуть утворитися сітки пустот і мікропорожнеч, що

пояснюється зміною об'єму при затвердінні, гази, що виділяються з металу при затвердінні утворюють нові дефекти - бульбашки різної величини до найдрібніших включно. Встановлено, що дендритна кристалізація починає розвиватися вже при невеликих швидкостях охолодження (10-15 °С/хв). Коли йде дендритна кристалізація, осі дендритів можуть рости з дуже великою швидкістю - до 1000 мм./хв. Вони як би пронизують сплав, створюючи каркас. Рідина, що залишилася між вісями дендритів, твердне повільно з лінійною швидкістю до 10 мм/хв. Головну роль у механізмі утворення дендрита грає нерівномірний розподіл температури і нерівномірна концентрація домішок і компонентів, що знижують точку плавлення металу, в розплаві навколо зростаючого кристала [25].

Кристали дендритної форми іноді можна бачити безпосередньо на поверхні злитка у вигляді характерного рельєфу. Проте найчастіше дендритна будова виявляється тільки після спеціального травлення макрошліфів. Оскільки всі проміжки між гілками дендритів заповнені, то видно лише місця стиків дендритів у вигляді меж зерен. Правильна форма дендритів спотворюється у результаті зіткнення і зрощення часток на пізніх стадіях процесу кристалізації. Гілки дендритів розділені дуже тонкими прошарками нерозчинних домішок, дрібними порожнинами і порами, які виникли в результаті зменшення об'єму при переході металу з рідкого стану у твердий. Отже, за механізмом утворення зерна металу являють собою, переважно, дендритні кристали, які вирости з одного зародка і мають однакову орієнтацію кристалічної ґратки. В залежності від швидкості охолодження рідкого металу, зерна можуть мати рівновісну (глобулярну) і стовпчасту (витягнуту) форму. [26].

Характерним для дендритної кристалізації є те, що зародки ростуть з нерівномірною швидкістю і переважно у напрямках інтенсивного тепловідбору, де швидкість росту максимальна. У цих напрямках формується вісь (або гілка) першого порядку — стовбур майбутнього дендритного кристалу [27]. Подальше збільшення розмірів осі першого порядку відбувається не лише за довжиною, а й за перерізом зростаючого кристалу. Внаслідок цього вісь завтовшки більша в

основі та менша біля вістря. З часом від осей першого порядку під певним кутом починають рости нові гілки — осі другого, третього, четвертого та інших порядків. Зі зростанням гілок високих порядків заповнюються всі проміжки, які займає рідкий метал, рис. 1.2. Внаслідок нерівномірної кристалізації зерен дендритної форми у різних місцях дендрита хімічний склад неоднаковий. Таку неоднорідність складу в межах одного дендритного кристалу називають дендритною ліквіацією.

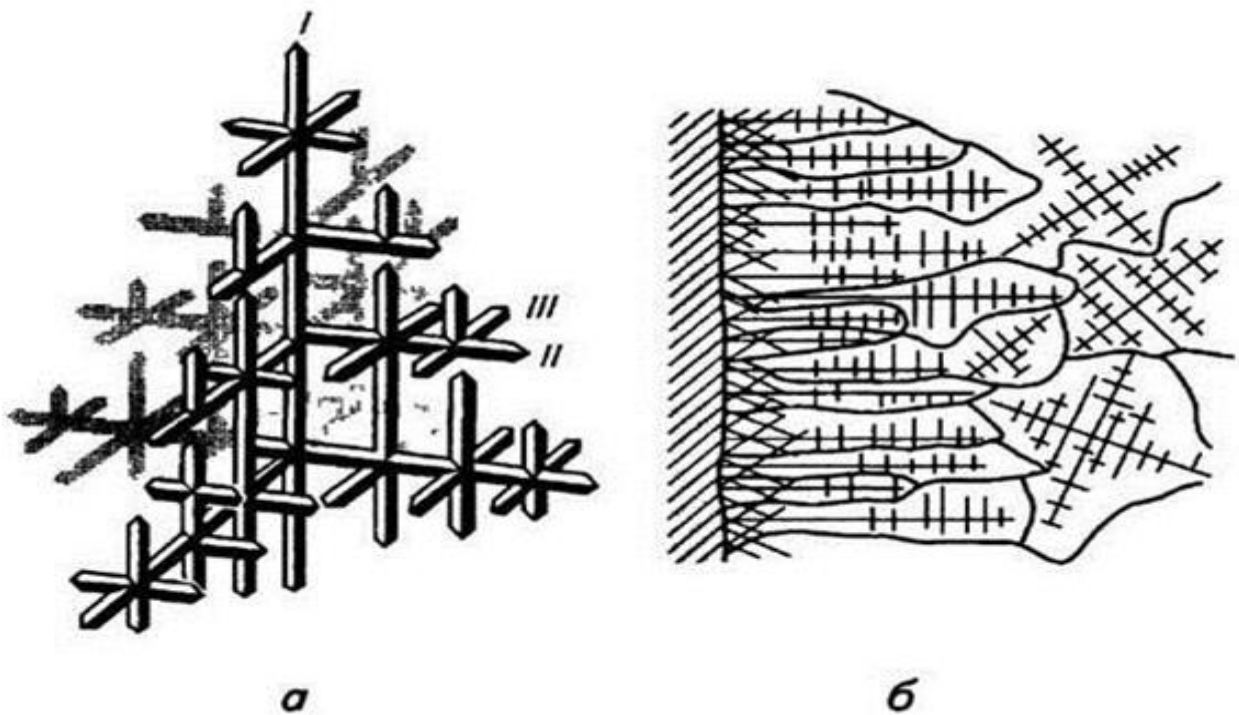


Рисунок 1.2 – Схема будови дендритного кристалу (а) та росту дендритів за перерізом зливка (б). I–III – порядок осей дендритів [27]

Дендрити ростуть до моменту зіткнення одних з іншими на завершальній стадії кристалізації, набуваючи при цьому нерегулярної форми та певних розмірів. Величина дендритних кристалітів є важливим чинником, який визначає властивості литих сплавів. Дрібнодисперсна структура забезпечує кращі механічні та технологічні властивості порівняно з грубодисперсною, яка окрихчує сплави. Тому в практиці ливарного виробництва для більшості виливків прагнуть забезпечити дрібнозернисту структуру, що реалізують переважно модифікуванням або через зміну температури розплаву чи швидкості

оохолодження під час кристалізації.

1.4 Способи подрібнення структури сплавів і їх властивості

Ливарні процеси є одними з найбільш важливих і основоположних технологічних процесів. Від якості одержуваних виливків залежать експлуатаційні характеристики безлічі машин, механізмів і відповідальних машинобудівних конструкцій. З цієї причини підвищення якості литого металу є актуальним науково-практичним завданням.

Дрібнозернисту структуру металів і сплавів при затвердінні можна сформувати декількома принципово різними способами:

- підвищенням швидкості зародження центрів кристалізації шляхом зміни температурних умов затвердіння;
- легуванням розплаву і введенням в нього елементів-модифікаторів;
- впливом на топологію поверхні поділу рідкої і твердої фаз, що визначає форму і розподіл зростаючих кристалів.

Говорячи про ступінь подрібнення структури, необхідно вказувати тип (склад) сплаву, форму або розмір злитка. В чистих металах отримати дрібне зерно набагато важче, ніж в сплавах, і, навпаки, в складних, багатокомпонентних системах майже неможливо отримати грубозернисту структуру. Важливе значення мають також форма і розмір злитків: великі об'єми розплавленого металу охолоджуються повільно і швидкість їх охолодження підвищити важко; з іншого боку, виникають певні труднощі при дослідженні властивостей плівкових зразків, які утворюються при краплинному охолодженні розплавленого металу [28].

Нажаль до цих пір основна увага дослідників направлена на аналіз структури, що утворюється при кристалізації злитка; значно менше уваги приділено її зв'язку з властивостями сплаву. Саме цим пояснюється відсутність серед дослідників єдиної думки про необхідність і корисність подрібнення зерна металів і сплавів.

Хоча структуру сплаву можна значно змінити в процесі термомеханічних обробок, проте вихідна (лита) структура зберігає важливе значення, по-перше, через її вплив на оброблюваність (деформованість) сплаву в твердому стані і, по-друге, через сильний вплив на властивості сплавів мікро- і макроліквацій злитків.

В реальних умовах ступінь мікроліквації набагато вища ступеня ліквації, що виникає при затвердінні злитків в рівноважних умовах. При кристалізації межі зерен тверднуть в останню чергу, виконуючи тим самим роль пасток для «шкідливих» компонентів сплаву. Тому ми вважаємо, що межі зерен є найбільш лікваційними областями злитка. Навіть у відносно чистих матеріалах склад рідкої фази в міждендритних каналах легко досягає концентрацій, відповідних двофазній структурі.

Не всі з розглянутих нижче способів подрібнення зерна в злитках сприяють отриманню дійсно наддрібною структури. Необхідно відзначити, що в високолегованих сплавах, наприклад в евтектичних, величина зерна грає менш важливу роль, ніж міжпластинчата відстань або будь-який інший параметр, що характеризує розподіл фаз в структурі сплаву.

Методи подрібнення структури засновані на трьох принципах:

- контроль та зміна температурних умов кристалізації;
- легування і введення в розплав елементів-модифікаторів;
- вплив зовнішніх силових полів на систему, яка кристалізується [29].

1.4.1 Модифікування структури сплавів ПАР

Модифікування поверхнево-активними речовинами, зокрема 0,01 мас. 96 В, злитків виявилось неефективним, так як в процесі повільної перекристалізації металу в умовах вакуумної дугової плавки відбувається перерозподіл модифікатора між твердою та рідкою фазами, при чому значна частина модифікатора виділяється у вигляді інтерметалідної фази високої твердості, частинки якої викликають концентрацію напруг під навантаженням і передчасне

руйнування металу [30]. Дослідження модифікування литих деталей із сталі показало, що модифікування бором виливків середніх розмірів є ефективним. Відмінності отриманих результатів пов'язані в основному з різною швидкістю затвердіння. Для фасонного лиття швидкість кристалізації порядком вище швидкості кристалізації великого промислового зливка, тому небажані явища, викликані коагуляцією боровмісної фази, її шкідливі наслідки в разі фасонного лиття відсутні [31].

Добавка ПАР, сповільнюючи ріст евтектичних колоній призводить до зростання переохолодження, і якщо температура розплаву опускається нижче температури метастабільної кристалізації, можливе утворення відбілу чавуну. У зв'язку з цим при литті в сухі форми товстостінних виливків наявність в складі поверхнево-активних елементів скажеться позитивно на процесі кристалізації. При виробництві тонкостінних виливків використовувати ці речовини потрібно обережно. Їх сповільнене зростання полегшує дифузію вуглецю на фронті зростання комірок, в результаті чого включення графіту товщають, а самі комірки ставатимуть коротшими [32].

1.4.2 Модифікування дисперсними тугоплавкими частинками

Широко застосовуваним методом підвищення якості виливків є модифікування металів і сплавів різними добавками, що впливають на процес кристалізації виливка. На сьогоднішній день фахівцями виконується великий обсяг досліджень з даної тематики. Удосконалення методів виготовлення нанорозмірних порошків призвело до появи нового напрямку досліджень в області модифікування. Нанорозмірні порошки мають відмінні від масивного стану речовини властивості. З цієї причини в даний час ведеться велике число досліджень щодо впливу нанодисперсних частинок на кристалізацію розплаву.

За результатами проведених досліджень можна зробити висновки про те, що модифікування чистого алюмінію добавками нанопорошків $\text{TiCN} + \text{Cu}$, $\text{TiC} + \text{Cu}$, і лігатурами $\text{TiCN} + \text{Cu}$, Al-Mg-Zr-B та Al-Ti-B призводить до

подрібнення структури литого алюмінію (таблиця 1.1), а також підвищує межу міцності металу до рівня, що досягається при використанні промислового модифікатора K_2ZrF_6 . Крім підвищення межі міцності, модифікування розплаву порошком $TiCN + Cu$ і лігатурою $Al-Mg-Zr-V$ призводить до підвищення відносного подовження зразків.

Таблиця 1.1 – Вплив лігатури $Al-Ti-V$ на структуру алюмінію [33]

Сплав алюмінію	Розмір зерна, мкм
Без модифікування	970
З додаванням подвійної лігатури ($Al + 5\%Ti$)	155
З додаванням потрійної лігатури ($Al + 5\%Ti + 1\%V$)	104

Тугоплавкі модифікатори утворюють з хімічними елементами розплаву тугоплавкі нерозчинні в ньому тверді частинки, які сприяють гетерогенному зародкоутворенню, виконуючи роль підкладок. Так збільшується швидкість утворення центрів кристалізації, що викликає подрібнення структури литого сплаву. Ефективність дії тугоплавких модифікаторів залежить від структурної і розмірної відповідності кристалічної будови матричної фази і утворених ними фаз-підкладок. Чим більша ця відповідність, тим менша поверхнева енергія на міжфазній межі підкладка-матриця (умова гетерогенного зародкоутворення) і більший термодинамічний стимул до утворення зародків на цих підкладках. Ефективними тугоплавкими модифікаторами для сталей є титан, ванадій, ніобій, які утворюють тугоплавкі карбіди TiC , VC , NbC ; для алюмінієвих сплавів – титан, цирконій, які утворюють з алюмінієм сполуки Al_3Ti , Al_3Zr ; для магнієвих сплавів з алюмінієм – крейда, магнезит, що містять вуглець, тощо [34].

1.4.3 Віб्रोобробка та ультразвукова обробка розплаву

При одержанні злитків литтям у кристалізатор застосування вібрації дозволяє отримувати заготовки з дрібнозернистою рівномірною розподіленою

по всьому перетину структурою. Інтенсифікація тепломасообмінних процесів зумовлює перспективність промислового використання цього методу впливу на сплав, що кристалізується. У реальному житті віброімпульс може бути підведений як до кристалізатора, так і безпосередньо до самої заготовки в зоні вторинного охолодження. Максимальний ефект від вібраційного впливу може бути отриманий при підводі віброімпульсу до самої заготовки при можливості регулювання її параметрів впливу в широких межах. При підводі ж віброімпульсу до кристалізатора з метою виключення розриву поверхневого шару шлаку і його затягування всередину заготовки необхідно обмежувати ці параметри, щоб не порушувати ламінарний характер руху розплаву[35].

Низькочастотна вібрація і механічне перемішування розплавів. Вібрація по суті є способом примусового перемішування розплаву незатверділої частини вилівка. Частота вібрації зазвичай становить 1-30 Гц при перемінній амплітуді. Вібрація руйнує великі дендрити в процесі затвердіння, їх уламки потрапляють в розплав, здійснюють запалювальну дію і сприяють зародженню нових центрів кристалізації, що веде до подрібнення макроструктури і скорочення зони стовпчастих кристалів. Вібрація дозволяє подрібнити зерна в 3 рази. Одночасно відбувається дегазація і зниження ліквациї. Ефективну дію вібрації проявляється тільки при наявності деякої початкової твердої скоринки на дендриті. Цей процес може відбуватися в двох варіантах: при вібрації заливного пристрою і при вібрації форми, подрібнення макрозерна забезпечують обидва способи, тому що початкова скоринка формується як при переливу, так і безпосередньо у формі[36].

Ультразвукова обробка передбачає вплив на розплав механічних коливань високою частотою порядку 10^3 - 10^7 Гц. Створення ультразвукових хвиль проводиться спеціальними пристроями, які перетворюють електромагнітні коливання в механічні. На рідинах це проявляється у зміні тиску всередині, що приводить до її розриву з утворенням дрібних порожнин. Зазначене явище називають ультразвуковою кавітацією. Вона може призводити до руйнування первинних дендритів і фазових складових. Їх подрібнення і рівномірний

розподіл уламків створюють додаткові центри кристалізації і призводять до подрібнення макрозерна. Величина зерна зменшується зі збільшенням введеної в розплав потужності, особливо після досягнення порогу кавітації. Під порогом кавітації розуміють звуковий тиск, який долає кавітаційну міцність рідини. При цьому виділяють три режими ультразвукової обробки:

- область докавітаційних режимів;
- область кавітаційних режимів, при яких спостерігається помітне подрібнення зерна;
- область інтенсивної кавітації. В цьому режимі комбінація з введенням в сплав модифікаторів дозволяє отримати особливу структуру з неденритними зернами. Потужність ультразвуку, при якій спостерігається перехід до такої структури, залежить від розміру злитка і складу сплаву, зокрема від вмісту домішок в сплав і наявності модифікаторів зародкової дії.

Введена в розплав акустична енергія викликає подвійний ефект:

- підвищення температурного градієнта з різким скороченням перехідної зони (в зв'язку з ефектом впливу УЗК), що сприяє зменшенню інтервалу ліквідус-солідус і розміру дендритних осередків.
- активування частинок домішок і модифікаторів за рахунок інтенсивної кавітації, що сприяє збільшенню числа кристалічних зародків незважаючи на звуження перехідної зони.

Завдяки ультразвуковій кавітації і акустичним течіям підвищується змочуваність твердої фази в розплав і більш повно реалізуються у вигляді активних центрів кристалізації наявні в рідкому металі дисперсні тверді частинки домішок. Підтвердженням зазначеного механізму є підвищення ефективності ультразвукової обробки при використанні модифікаторів зародкового типу.

Кінцевий результат свідчить про переважну роль другого ефекту - підвищення числа активних центрів кристалізації. Відзначається [37], що при великій кількості центрів кристалізації зростаючі дендрити не встигають «викинути гілки» і процес кристалізації завершується на початковій стадії росту

кристалу. На відміну від електромагнітного перемішування при ультразвуковій обробці розвивається об'ємна кристалізація та пов'язані з нею небажані явища, а навпаки, з подрібненням зерна зменшується розмір дендритних осередків внаслідок скорочення перехідної зони. У цьому полягає одна з вирішальних переваг ультразвукової обробки в порівнянні з електромагнітним перемішуванням і іншими методами подрібнення макроструктури.

Отриманий звичайним способом зразок мав великі рівновісні зерна 2...4 мм. На кромці були витягнуті зерна з поперечними межами. Зразок отриманий за допомогою акустичного впливу мав дуже дрібні рівновісні зерна 0,5...1 мм. Найдрібніші зерна були розташовані на краях (рис. 1.3). Можна відзначити, що при характерній частоті проходження імпульсу вирівнюється показники процесу, зростає ступінь однорідності і структури продукту[38].

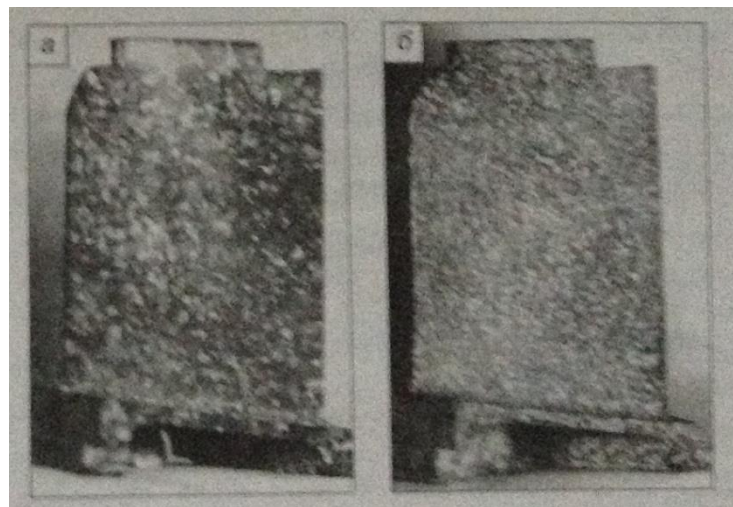


Рисунок 1.3 – Макроструктура литих заготовок без оброблення вібрацією (а), та під дією коливань 200 кГц (б).

1.4.4 Вплив електричного струму на структуру сплавів

Після обробки імпульсно-електричним струмом інтенсивність полів мікронапружень в матеріалі знижується, мікротріщини не виникають на різних стадіях навантаження – в результаті в процесі деформування приймає участь увесь об'єм матеріалу, що підвищує його енергоємність. Таким чином обробка

імпульсним електричним струмом змінює механізм руйнування сталі Ст3 при кімнатній температурі, підвищує її пластичність, опір руйнуванню і, що більш важливо, знижує інтервал температур в'язко-крихкого переходу, що є наслідком підвищення однорідності деформації матеріалу на макро- і макрорівнях [39].

Електричний струм впливає на формування дендритної структури алюмінієвого сплаву. Пропускання електричного струму при кристалізації сплаву призводить до зменшення розміру дендритних осередків і формування тонкодиференційної евтектики в сплаві. Регулюючи приплив теплоти з середини за рахунок теплоти Джоуля - Ленца, можна стабілізувати у часі і в обсязі стан зародків кристалізації. Застосування даного виду впливу на етапі фазового переходу дозволить направлено впливати на динаміку процесу формування кристалічної структури, управляти формуванням властивостей матеріалу [40].

Електричний струм впливає на процеси, що протікають при кристалізації чавуну, на результати обробки впливають не тільки сила струму, а й частотні характеристики. При використанні струму малої скважності (1 меандр та більше) відбувається подрібнення зерна, змінюються форма, розміри і характер розподілення графітових включень (рис. 1.4). Використання електричного струму заданої частоти може стати ефективним і мобільним інструментом управління цими процесами [41].

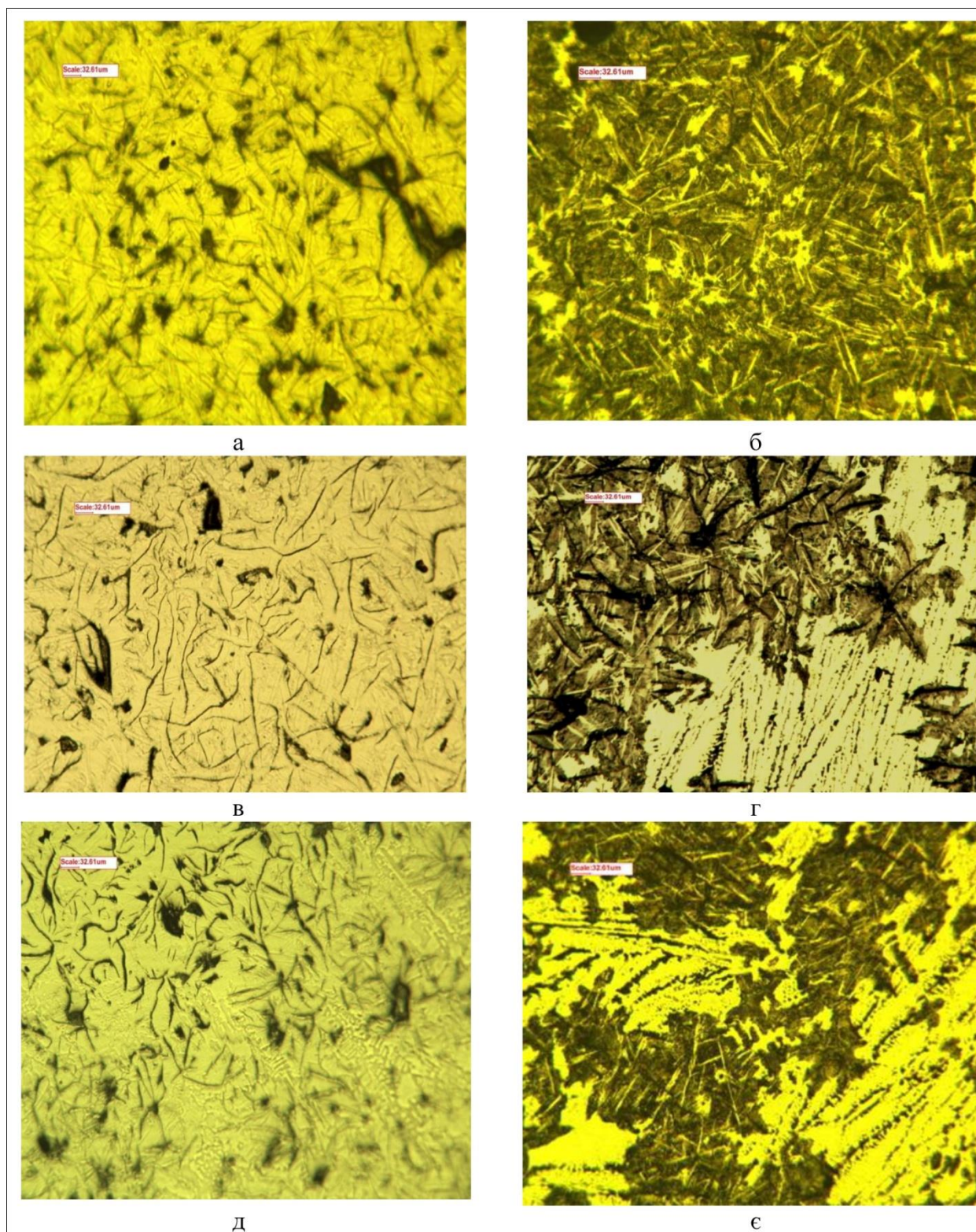


Рисунок 1.4 – Мікроструктура чавуну: а - не травлені; б - травлені з прикладеним електричним струмом (сила струму 3А, скважність 1); в - не травлені; г - травлені (сила струму 3А, скважність 3); д - не травлені; є - травлені (без обробки електричним струмом) [42].

1.4.5 МГД обробка розплавів

Перемішування розплавів в формі може здійснюватися не тільки механічним, але і електромагнітним способом. Спосіб електромагнітного перемішування (ЕМП) отримав застосування на практиці, особливо при безперервного розливання сталевих злитків. Спосіб забезпечує при безперервному литті руйнування дендритів на фронті кристалізації і розподіл уламків по всьому об'єму розплаву, викликає зниження і вирівнювання температури в обсязі лунки і розширення області переохолодженого рідкого металу. Число центрів кристалізації зростає в прямій залежності від потужності, яка подається на індуктор, і отже, від швидкості руху рідкої фази. З використанням ЕМП досягали суттєвого подрібнення макроструктури злитків з легких сплавів латуні при безперервному литті. Лиття злитків з магнієвих сплавів досягали подрібнення макроструктури в 100 разів і більше з одночасним вирівнюванням розміру зерна по перерізу. Разом з тим, інтенсивне перемішування рідкої фази в лунці в ряді випадків, внаслідок розвитку об'ємної кристалізації, супроводжується небажаними явищами огрубіння дендритних гілок, випаданням первинних інтерметалідів і посиленням зональної ліквідації [43].

Результати дослідження показали ефективність застосування удосконаленого способу теплового та імпульсного МГД впливу на рідкий алюмінієвий сплав А356.0 в каналах магнітодинамічної установки, обумовлених комплексною дією факторів пінч-ефекту і розрідження, зокрема дугових розрядів і імпульсами тиску, внаслідок імпульсного характеру протікання струмів. Показано, що теплова і імпульсна МГД обробка розплаву інтенсифікує процес дегазації, сприяє поліпшенню структури і підвищення фізико-механічних властивостей сплаву в литому стані [44].

Проведений аналіз сучасних способів і пристроїв забезпечує здійснювати комплексний МГД вплив на розплав в процесі приготування, розливання і кристалізації. Побудовані математичні моделі дозволили виявити вплив

механічної енергії, що передається електромагнітним полем в розплав, на теплові та гідродинамічні процеси, що протікають в індукційній установці, а саме: збільшення на 30% ефективної теплопровідності розплаву (до $130 \text{ Вт} / (\text{м} \cdot \text{К})$) за рахунок застосування МГД перемішування, що призводить до інтенсифікації процесів теплообміну в печі; збільшення енергії турбулентних пульсацій в розплаві до 0,8 мДж, що призводить до інтенсифікації механічного впливу на кристалізацію розплаву і забезпечує рівномірну дрібнозернисту структуру злитка. Аналіз фізичного впливу МГД перемішування на рідкий метал в індукційній установці дозволяє зробити висновок, що найбільш ефективним є комплексний вплив електромагнітного перемішування на розплав в процесі його приготування і розливання, і пульсуючим електромагнітним полем, в процесі його кристалізації. Визначена комбінація синтезованих електромагнітних параметрів індукційної установки, що забезпечує режим роботи, при якому здійснюється стійке формування злитка з рівномірним розподілом властивостей як в поперечному перерізі, так і по його довжині [45].

1.5 Кристалізація прозорих моделей

Моделювання процесів кристалізації обумовлено складністю здійснення оптимального автоматичного управління процесом, яке, мабуть, в недалекому майбутньому стане невід'ємною рисою будь-якого виробництва. В цьому напрямку ведуться досить активні дослідження. Наприклад, для вимірювання розподілу багатовимірних розмірів частинок в процесі кристалізації розроблений прилад, який дозволяє виділяти з потоку через осередок частки, для отримання їх зображення у вигляді суспензії з двох перпендикулярних напрямках [46].

Дослідники [46], знаючи досяжну область розмірів частинок і можливі альтернативи процесу безперервної кристалізації, визначають розміри частинок, обумовлені конфігурацією процесу. Так само враховується вплив невизначеності кінетичних параметрів, необхідних для їх визначення.

Є досвід проектування і управління різними операціями кристалізації, що сприяє розвитку систем контролю і управління технологічними процесами. Реалізована система в програмному забезпеченні, яка дозволяє користувачеві створювати і перевіряти різні ситуації шляхом систематичного автоматизованого каркаса [47].

Звернення до багатовимірного простору при кристалізації об'єктивно обумовлено. Зокрема, при дослідженнях імпульсного радіовипромінювання при кристалізації води встановлено, що вода - це система з сильно неоднорідною проникністю. Встановлено також, що діелектрична проникність, що розглядається в чотиривимірному просторі (x, y, z, t), свідчить про її тимчасові зміни, які в ході перетворення повинні призводити до зміни ємнісний зв'язку з зондом і викликати появу електричних сигналів [48].

Цікавим є досвід візуалізації процесу кристалізації полімерів в тривимірному просторі, здійснений в Національному науковому центрі Харківського фізико-технічного інституту. Зокрема візуалізація з використанням відеозапису дозволила встановити темпи зростання кристалізованої фази і час зарощування каналів при русі під тиском [49].

Існує безліч варіантів поєднання чинників, які визначають властивості матеріалів при кристалізації. Вирішення задачі оптимізації процесу кристалізації в часі дозволить значно підвищити точність прогнозування та реалізації запланованих властивостей матеріалів і речовин, що утворюються в процесі кристалізації, і управляти цим процесом.

Під час кристалізації структура скла релаксує до термодинамічно вигіднішого стану (відбувається кристалізаційна усадка або ущільнення), усуваючи надлишок вільного об'єму сусідніх пустот. Такі зміни свідчать про зникнення існуючих пустот, або їх трансформацію в більшу кількість дрібніших пустот.

Тонкі плівки Sb_2Se_3 товщиною 200 нм одержувались на непідігріваних скляних підкладках шляхом вакуумного випаровування полікристалічного

Sb_2Se_3 із квазізамкнених ефузійних комірок. Оптичне випромінювання вводилось в термостат за допомогою оптичного волокна. При вивченні ізотермічної кристалізації ці плівки поміщались в термостатовану камеру, в якій забезпечувалася стабілізація температури (± 1 К) в ділянці температур 300...550 К. При дослідженні процесів неізотермічної кристалізації плівок здійснювалося їх нагрівання з різними (заданими) швидкостями. У першому випадку реєструвалася зміна оптичного пропускання від часу при постійній температурі витримки, у другому – зміна пропускання при зростанні температури. Тобто кристалізація аморфних плівок Sb_2Se_3 супроводжується різким зменшенням оптичного пропускання. Температура переходу плівки в кристалічний стан зростає при збільшенні швидкості нагрівання. На основі вивчення ізотермічної кристалізації та теоретичних розрахунків встановлено, що найбільш ймовірним механізмом кристалізації плівок є двомірний ріст кристалітів на фоні усталеного зародкоутворення [50].

Авторами [51] проведено моделювання з використанням спеціально розроблених комп'ютерних програм, що реалізують нові різновиди методики кінетичного моделювання та удосконаленої методики моделювання дифузійних процесів за методом сіток. Встановлено, як на однорідність плівок під час рідкофазної епітаксії впливають величина переохолодження й енергія зв'язку з підкладкою. Шляхом моделювання росту кристалів зі змішаних розплавів встановлено, як величина міжатомної взаємодії різнойменних атомів впливає на структуру поверхні первинних кристалів. Виявлено природу ефекту покращення адгезії до підкладки потрібного розплаву з активним В-компонентом у разі введення С-компонента, який сильно взаємодіє з основним А-компонентом і слабо взаємодіє з В-компонентом. Уперше виконано моделювання спрямованого твердіння з одночасним урахуванням анізотропії швидкості росту й поверхневого натягу. Встановлено що ця анізотропія більше впливає на розвиток збурень і сприяє утворенню більш регулярних структур. Встановлено, що теоретично очікувана стійкість фронту за дуже низьких швидкостей протягування зразка не підтверджується результатами моделювання через

локальні флуктуації швидкості росту, а структура кристала, що утворюється за таких умов, є вкрай недосконалою [52].

1.6 Висновки до розділу 1

Після аналізу інформації про фізичний вплив на розплав та кристалізації і утворення дендритної структури розплаву можна зробити такі висновки:

1. Перехід металу з рідкого або пароподібного стану в твердий (кристалічний) стан називається первинною кристалізацією. Утворення нових кристалів у твердому тілі називають вторинною кристалізацією. Процес кристалізації, як установив Д. К. Чернов, здійснюється в два етапи:

- виникнення центрів кристалізації (зародків);
- зростання кристалів з утворених центрів.

2. Існує гомогенне і гетерогенне утворення зародків кристалізації. Гомогенна система – термодинамічна система, всередині якої немає поверхонь поділу, що відділяють частини системи одна від одної. Гетерогенна система – це неоднорідна термодинамічна система, яка складається з однорідних фаз, розділених поверхнею поділу.

3. Дендритна кристалізація характеризується виділенням з розчину недобудованих монокристалів, що утворилися на багатьох центрах.

4. Характерним для дендритної кристалізації є те, що зародки ростуть з нерівномірною швидкістю і переважно у напрямках інтенсивного тепловідбору, де швидкість росту максимальна.

5. В реальних умовах ступінь мікроліквації набагато вище ступеня ліквації, що виникає при твердненні злитків у рівноважних умовах. При кристалізації межі зерен тверднуть в останню чергу, виконуючи тим самим роль пасток для «шкідливих» компонентів сплаву. Тому вважаємо, що межі зерен є найбільш лікваційним областями злитка.

6. Добавка ПАР, сповільнюючи ріст евтектичних колоній, призводить до зростання переохолодження, і якщо температура розплаву опускається нижче

температури метастабільної кристалізації, можливе утворення відбілу. У зв'язку з цим при литті в сухі форми товстостінних виливків наявність в складі поверхнево-активних речовин скажеться позитивно на процесі кристалізації.

7. Модифікування чистого алюмінію добавками нанопорошків $\text{TiCN} + \text{Cu}$, $\text{TiC} + \text{Cu}$, і лігатурами $\text{TiCN} + \text{Cu}$, Al-Mg-Zr-B та Al-Ti-B призводить до подрібнення структури литого алюмінію, а також підвищує межу міцності металу до рівня, що досягається при використанні промислового модифікатора K_2ZrF_6 . Крім підвищення межі міцності, модифікування розплаву порошком $\text{TiCN} + \text{Cu}$ і лігатурою Al-Mg-Zr-B призводить до підвищення відносного видовження.

8. Вібрація руйнує великі дендрити в процесі тверднення, їх уламки потрапляють в розплав, здійснюють запалювальну дію і сприяють зародженню нових центрів кристалізації, що веде до подрібнення макроструктури і скорочення зони стовпчастих кристалів. Вібрація дозволяє подрібнити зерна в 3 рази. Одночасно відбувається дегазація і зниження ліквациї.

9. Завдяки ультразвуковій кавітації і акустичним течіям підвищується змочуваність твердої фази в розплаві і більш повно реалізуються у вигляді активних центрів кристалізації наявні в рідкому металі дисперсні тверді частинки.

10. Електричний струм впливає на формування дендритної структури алюмінієвого сплаву. Пропускання електричного струму при кристалізації сплаву призводить до зменшення розміру дендритних осередків і формування тонкодиференційної евтектики в сплаві.

11. Найбільш ефективним є комплексний вплив електромагнітного перемішування на розплав в процесі його приготування і розливання, і пульсуючим електромагнітним полем в процесі його кристалізації.

12. Наукове дослідження кристалізації прозорих моделей проводиться шляхом моделювання з використанням спеціально розроблених комп'ютерних програм, що реалізують нові різновиди методики кінетичного моделювання та удосконаленої методики моделювання дифузійних процесів за методом сіток.

Вирішення задачі оптимізації процесу кристалізації в часі дозволить значно підвищити точність прогнозування та реалізації запланованих властивостей матеріалів і речовин, що утворюються в процесі кристалізації і управляти цим процесом.

2 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1 Виготовлення кристалізаторів

Для проведення експериментів потрібно було виготовити такий кристалізатор, у якому, під час кристалізації, було б візуально видно ріст кристалів та збільшення вже закристалізованого шару.

Було прийнято рішення виготовити два кристалізатора різної конфігурації, для злитка і для виливка, задля забезпечення різної величини перерізу в окремих місцях кристалізатора і фіксувати утворення кристалів в часі.

В якості моделюючої речовини ми використовували тіосульфат натрію, так як він має дендритну структуру кристалів, температуру плавлення 48°C , в рідкому стані він прозорий, а в твердому – білий, тобто виникає можливість вільно спостерігати за процесом росту кристалів.

Кристалізатори виготовлені зі сталеві трубки квадратного перерізу, для циркуляції води в них, і прозорого пластику з нанесеною розміткою для спостереження і фіксації розміру кристалічного шару, який в першу чергу утворюється біля водоохолоджуваних трубок.

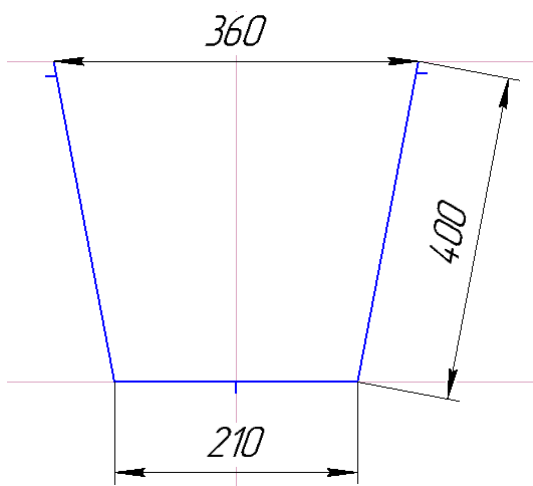


Рисунок 2.1 – Схема кристалізатора для злитка

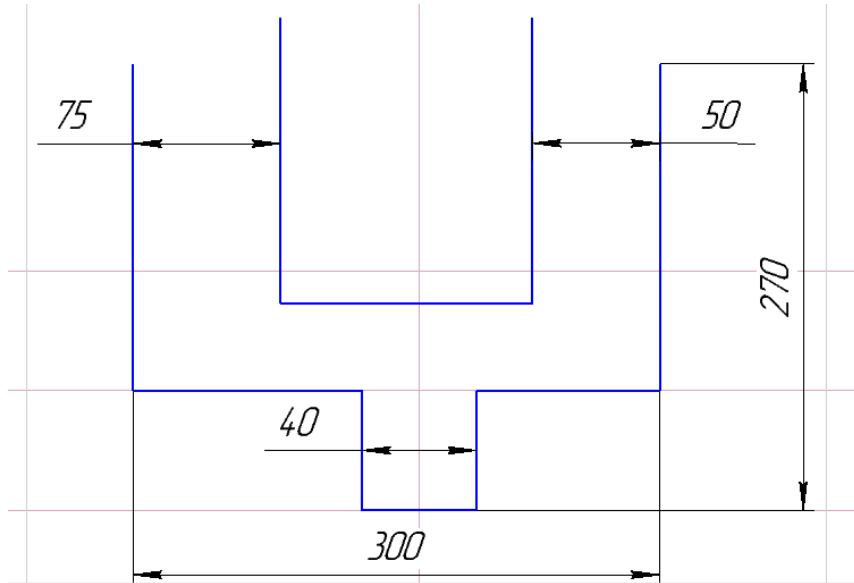
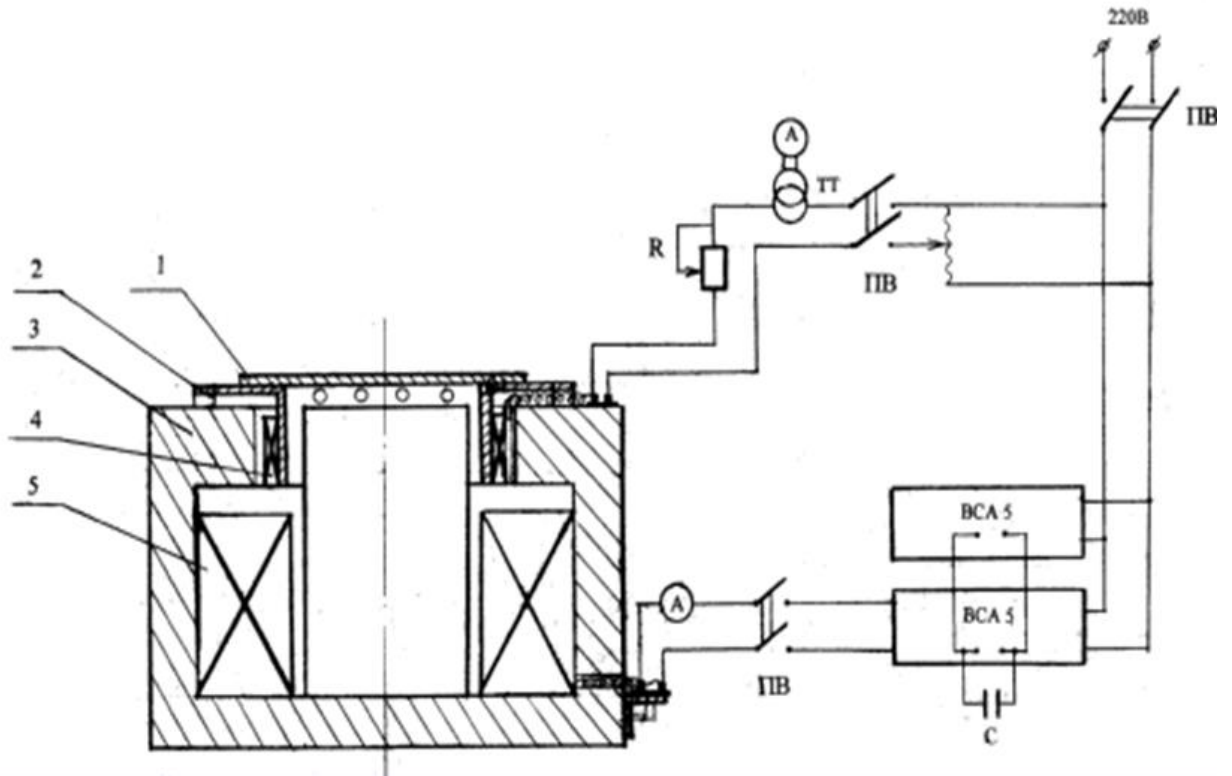


Рисунок 2.2 – Схема кристалізатора для виливка

Завдяки такій конфігурації ми можемо заміряти товщину кристалічного шару в перерізах 75мм, 50мм, 40мм і робити певні висновки щодо росту кристалів в цих місцях в певний момент часу.

2.2 Принцип роботи електродинамічного вібраційного стенду

У даній роботі було використано електродинамічний вібраційний стенд, схему якого зображено на рисунку 2.1.



1 – робочий стіл; 2 – пластинчаті пружини; 3 – корпус; 4 – котушка збудження; 5 – котушка підмагнічування; ТТ – трансформатор електричного струму; ПВ – вимикач; R – реостат.

Рисунок 2.1 – Схема електродинамічного вібраційного стенду

Вібростенд являє собою електромагнітну систему, що складається з електромагніту і вібраційного столу 1, закріплених на пластинчатих пружинах 2 в корпусі 3. Електромагніт живиться постійним струмом від двох випрямлячів ВСА-5. У кільцевому зазорі електромагніту розміщена котушка збудження 4, через яку на котушку підмагнічування 5 подається змінний електричний струм, який взаємодіє з постійним магнітним полем, в результаті чого виникають вібраційні коливання робочого столу 1 з частотою, що дорівнює частоті змінного електричного струму. Живлення обмотки збудження здійснюється за допомогою лабораторного автотрансформатора, який дає можливість регулювати струм, тобто амплітуду коливання робочого столу, значення струму в котушках контролюється за допомогою амперметра.

2.3 Методика проведення дослідження

Для проведення експериментів по кристалізації моделюючої речовини було закріплено до робочого столу електродинамічного вібраційного стенду, у вертикальному положенні, кристалізатор для вилівка та підведено водоохолодження (рис.2.1).



Рисунок 2.1 – Зображення встановлення кристалізатора на вібростенді

Моделюючу речовину (тіосульфат натрію) заливали при температурі 60°C , при цьому швидкість потоку води через кристалізатор дорівнювала 0,8 л/хв. Температура води завжди була практично однаковою, близько 11°C . Після заливання розплаву в кристалізатор фіксували час утворення твердого кристалічного шару товщиною 2, 5, 10, 15, 20, 25 мм у різних перерізах кристалізатора.

Експерименти проводились як без впливу вібрації на кристалізацію моделюючої речовини, так і з амплітудою коливань 0,25мм, 0,35мм, 1мм, 1,5мм.

Також були проведені окремі дослідження без впливу вібрації, але з додаванням до складу тіосульфату натрію дрібнодисперсного нітриду титану в кількості 0,01% та 0,02%. Окремо – нітриду кремнію в кількості 0,005% та 0,01%.

Після повної кристалізації розплаву виливок вибивали, фіксували результат і робили певні висновки, пов'язані з кінетикою кристалізації.

2.4 Висновки до розділу 2

1. Було визначено методику проведення дослідних кристалізацій з додаванням дрібнодисперсних частинок тугоплавких металів.

2. Розроблено методику проведення досліджень по кристалізації моделюючої речовини з впливом вібрації.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Проведення дослідів з використанням рідкого металу в теперішній час потребує великих економічних затрат. Тому для проведення досліджень, у якості моделюючої речовини, використовували тіосульфат натрію. Температура заливання у кристалізатор (рис. 2.2) складала 60°C при температурі плавлення 48°C . Температура води на вході в кристалізатор – 11°C , витрата води – $0,8\text{ л/хв}$.

Кристалізація тіосульфату натрію починається від стінок форми і просувається в середину рідини одночасно, практично з однаковою швидкістю, у різних перерізах кристалізатора. При цьому (рис. 3.1) при кристалізації утворюється усадкова раковина біля вільної поверхні рідини і у теплових вузлах виливка.

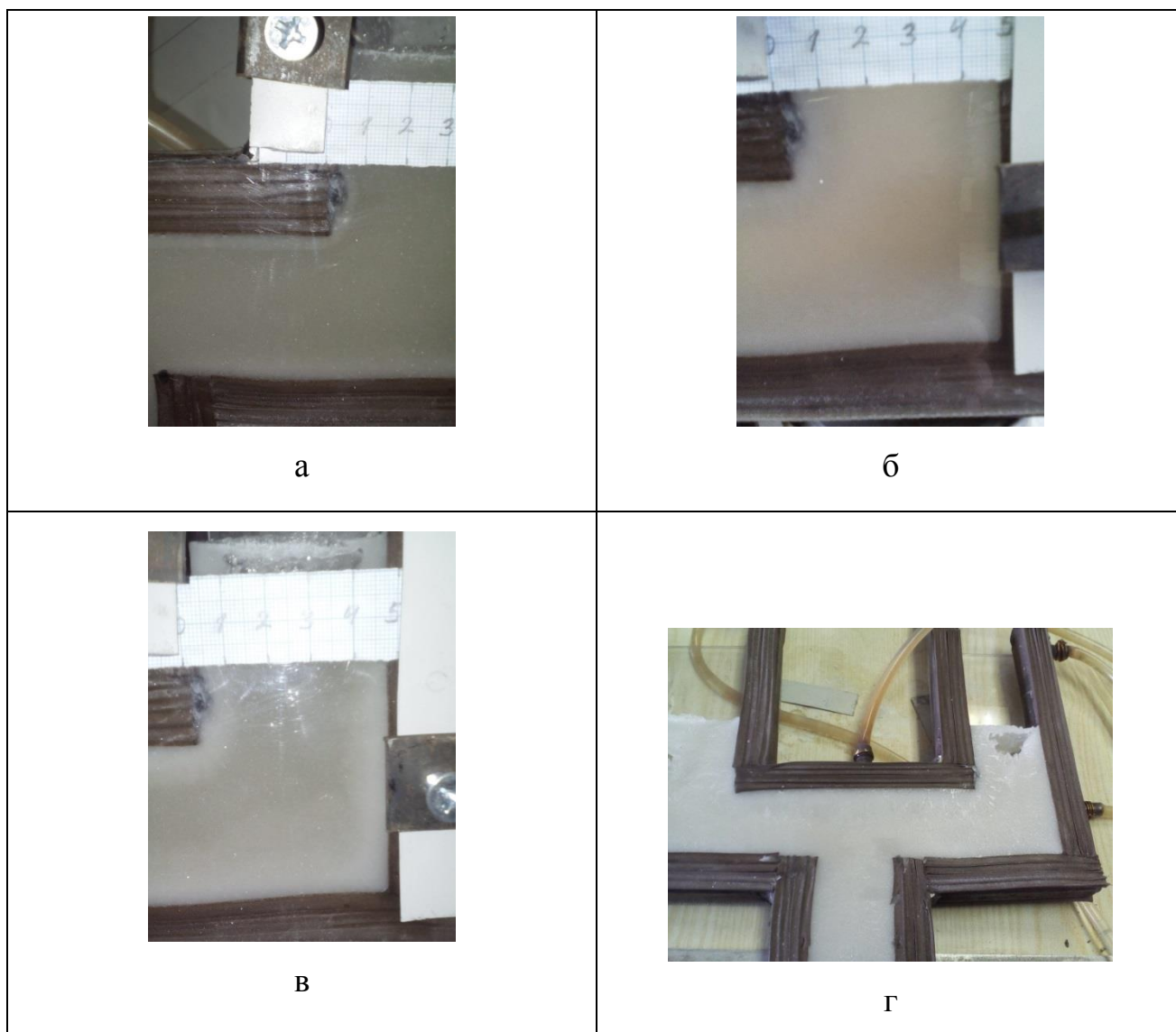


Рисунок 3.1 – Зображення кристалізації чистого тіосульфату натрію (а, б, в, г)

Зміна товщини затверділого шару в часі підкоряється логарифмічній залежності. Обробку дисперсними частинками нітриду титану (розмір частинок за паспортом $<0,1$ мкм) тіосульфату натрію проводили замішуванням протягом не менше трьох хвилин при температурі 60°C . Одержаний розплав заливали у кристалізатор. Обробку нітридом титану проводили в кількості 0,01 об.% та 0,02 об.%. Одержані результати наведені в таблицях 3.1, 3.2, 3.3 та на рисунках 3.2 і 3.3.

Таблиця 3.1 – Кінетика кристалізації без нітриду титану

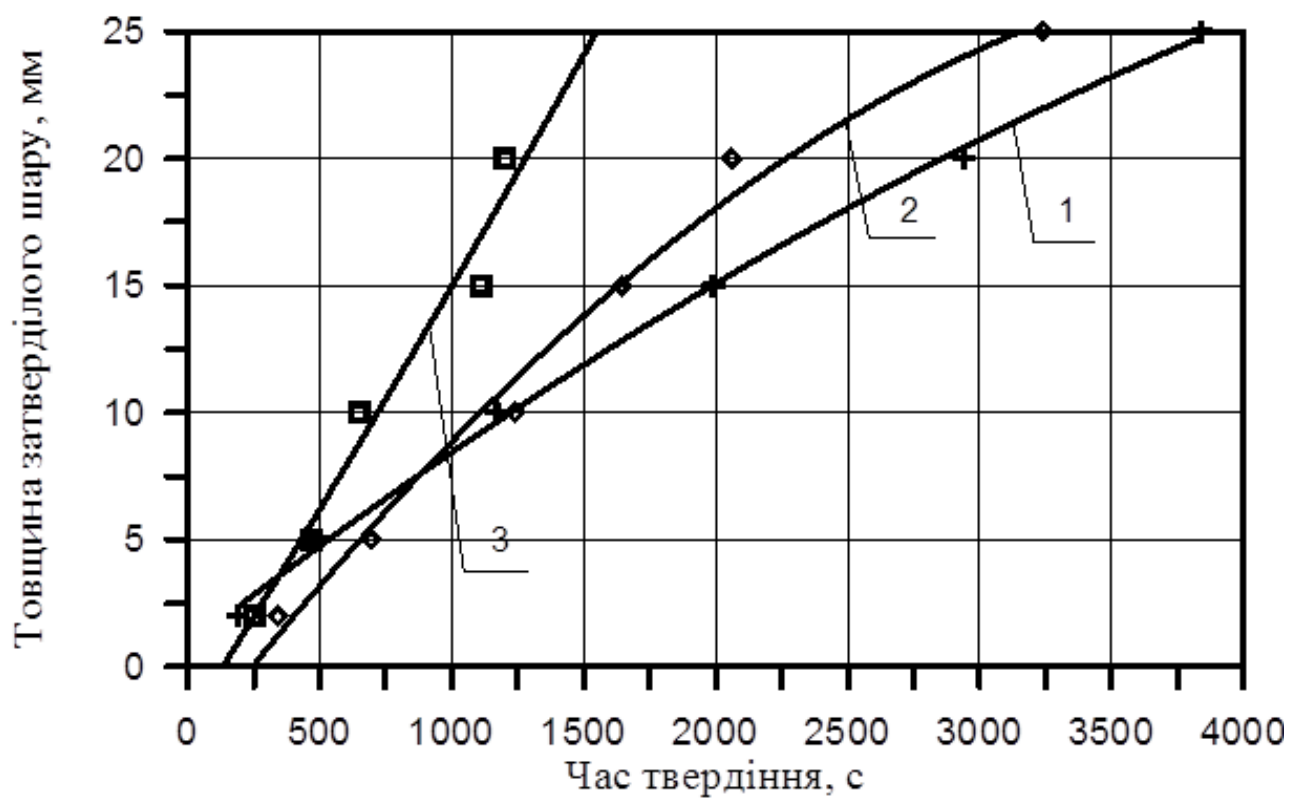
Товщина кристалізатора, мм Товщина закристалізованого шару, мм	40	50	75
2	190	200	180
5	500	510	490
10	1190	1180	1130
15	2010	1990	1970
20	2920	2960	2940
25		3780	3900

Таблиця 3.2 – 0,01% нітриду титану

Товщина кристалізатора, мм Товщина закристалізованого шару, мм	40	50	75
2	330	340	350
5	700	690	700
10	1250	1230	1240
15	1630	1640	1660
20	1830	2170	2180
25		3180	3300

Таблиця 3.3 – 0,02% нітриду титану

Товщина кристалізатора, мм Товщина закристалізованого шару, мм	40	50	75
2	240	250	260
5	470	480	460
10	660	640	650
15	1100	1110	1120
20	1200		
25			



1 – без нітриду титану; 2 – 0,01% нітриду титану; 3 – 0,02% нітриду титану

Рисунок 3.2 – Залежність товщини затверділого шару від часу твердіння з додаванням нітриду титану

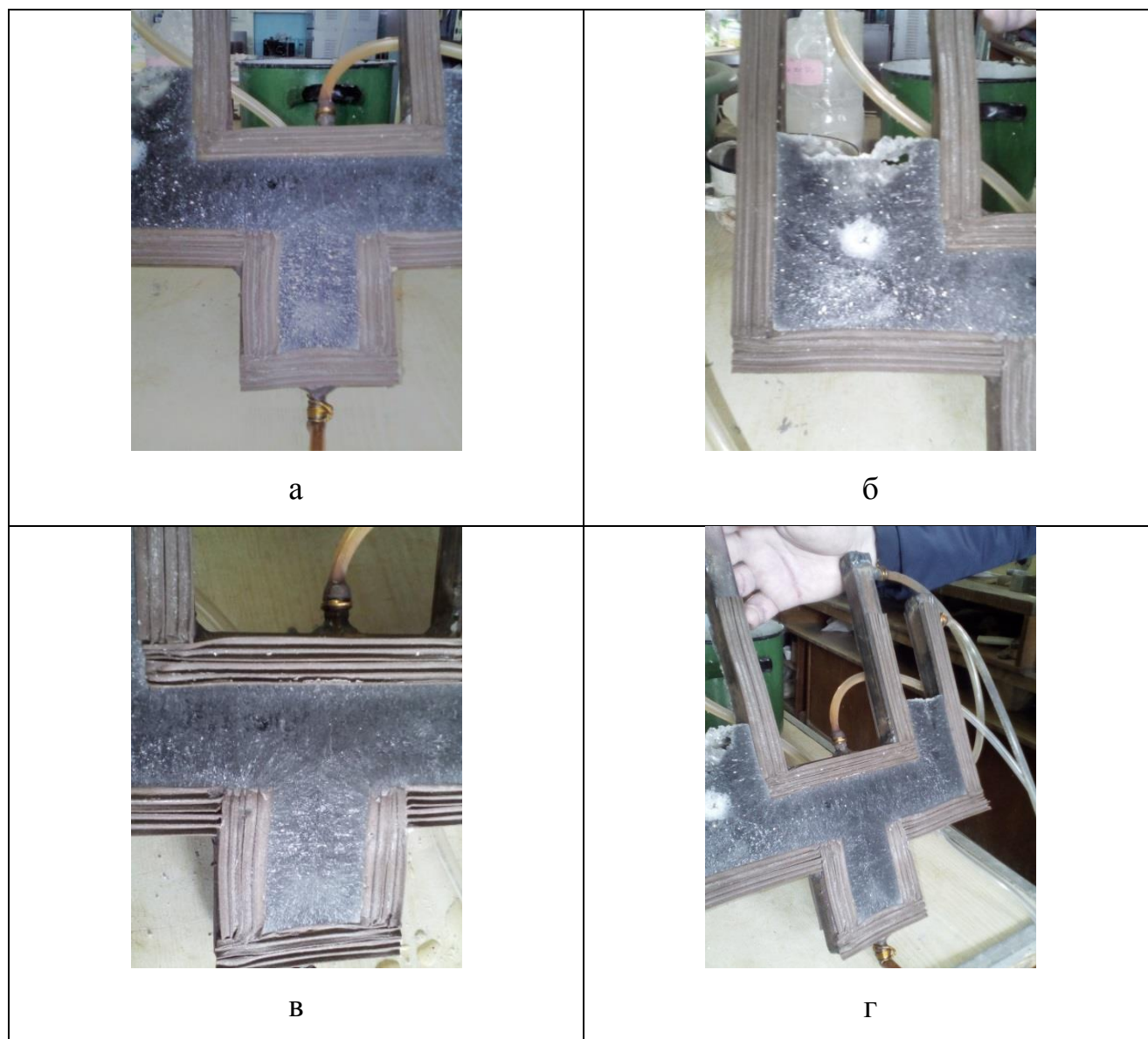


Рисунок 3.3 – Структура закристалізованої моделюючої речовини з додаванням нітриду титану: а, б - вміст нітриду титану 0,01 об.%; в, г - вміст нітриду титану 0,02 об.%

Обробка нітридом титану не змінює логарифмічного закону твердіння, відбувається поступове збільшення товщини закристалізованого шару тіосульфату, дещо зменшується усадкова раковина біля вільної поверхні виливка та у тепловому вузлі. Це вказує на те, що змінюється характер кристалізації виливка в бік об'ємної кристалізації.

Зі збільшенням кількості введенного нітриду титану швидкість твердіння значно зростає, в перерізі виливка 50 мм час твердіння скорочується більш ніж

у 2 рази, а швидкість твердіння зростає з 0,0090 до 0,0170 мм/с на початку твердіння, з 0,0040 до 0,0170 мм/с наприкінці, тобто майже в 4 рази (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Вплив кількості нітриду титану на швидкість твердіння

Кількість нітриду титану, об.%	Швидкість твердіння, мм/с		
	на початку	наприкінці	середня
0	0,0090	0,0040	0,0065
0,01	0,0120	0,0045	0,0083
0,02	0,0170	0,0170	0,0170

Обробка розплаву нітридом кремнію показала, що характер зміни товщини затверділого шару в часі, тобто кінетика твердіння, також змінюється за логарифмічним законом, збільшення кількості нітриду кремнію призводить до інтенсифікації твердіння. Результати досліджень наведені в таблицях 3.5, 3.6, 3.7, та на рисунках 3.4, 3.5.

Таблиця 3.5 – Кінетика кристалізації без нітриду кремнію

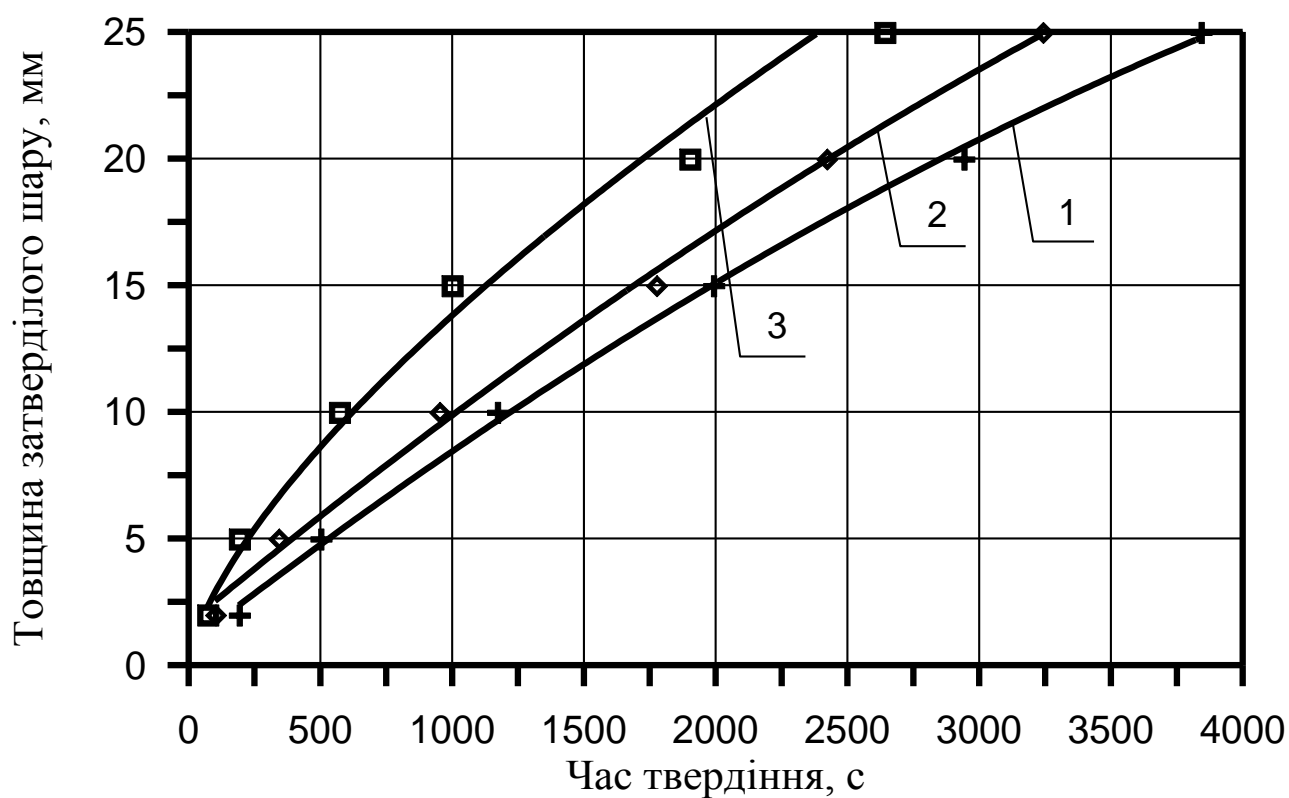
Товщина кристалізатора, мм Товщина закристалізованого шару, мм	40	50	75
2	190	200	180
5	500	510	490
10	1190	1180	1130
15	2010	1990	1970
20	2920	2960	2940
25		3780	3900

Таблиця 3.6 – 0,005% нітриду кремнію

Товщина кристалізатора, мм Товщина закристалізованого шару, мм	40	50	75
2	90	100	110
5	340	330	350
10	960	940	9050
15	1790	1770	1760
20	2420	2400	2440
25		3120	3360

Таблиця 3.7 – 0,01% нітриду кремнію

Товщина кристалізатора, мм	40	50	75
Товщина закристалізованого шару, мм			
2	70	60	80
5	200	190	180
10	570	550	590
15	1020	980	990
20	1890	1890	1920
25		2580	2700



1 – без нітриду кремнію; 2 – 0,005% нітриду кремнію; 3 – 0,01% нітриду кремнію

Рисунок 3.4 – Залежність товщини затверділого шару від часу твердіння з додаванням нітриду кремнію



Рисунок 3.5 – Структура закристалізованої моделюючої речовини з додаванням нітриду кремнію

Характер твердіння при обробці нітридом кремнію тіосульфату натрію практично не змінюється. Все відбувається так як і у випадку з нітридом титану.

Зі збільшенням кількості введеного нітриду кремнію швидкість твердіння також зростає з 0,0090 до 0,0130 мм/с, що майже в півтора рази, на початку, і з 0,0040 до 0,0080 мм/с – у 2 рази наприкінці (табл. 3.8).

Таблиця 3.8 – Вплив кількості нітриду кремнію на швидкість твердіння

Кількість нітриду кремнію, об.%	Швидкість твердіння, мм/с		
	на початку	наприкінці	середня
0	0,0090	0,0040	0,0065
0,005	0,0095	0,0060	0,0078
0,01	0,0130	0,0080	0,0105

За результатами, що наведені в таблицях 3.4 і 3.8 побудовано залежність швидкості твердіння від кількості введених частинок незалежно від їх природи (рис. 3.6).

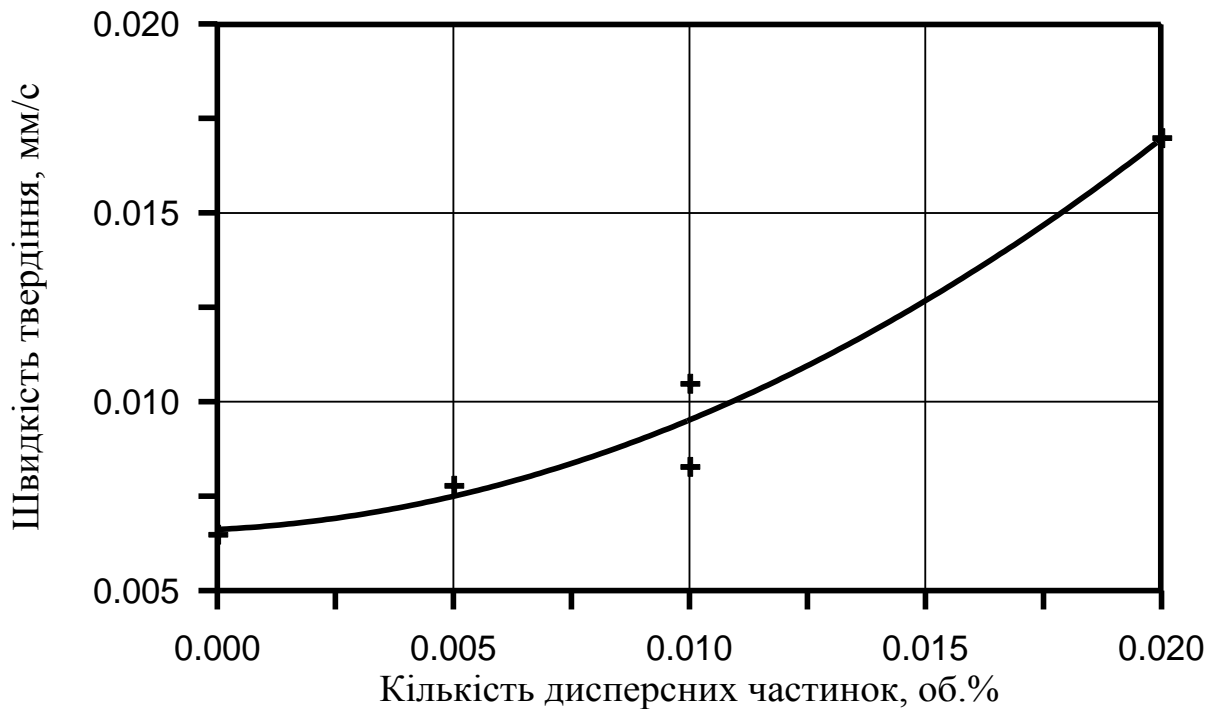


Рисунок 3.6 – Залежність швидкості твердіння від кількості введених частинок

Оскільки частинки нітридів титану та кремнію відрізняються між собою тільки фізичною природою, то однакова зміна швидкості твердіння в залежності від кількості введених частинок вказує на чисто механічне блокування зростаючих кристалів і їх подрібнення (рис. 3.6).

Таким чином підтверджено механізм впливу дисперсних частинок на подрібнення первинно закристалізованих фаз у сплавах, в тому числі заевтектичних силумінах.

У наступній частині експериментів описано дослідження впливу вібрації на кристалізацію з амплітудами коливання 0,25 мм, 0,35 мм, 1 мм, 1,5 мм. На модельному матеріалі (тіосульфат натрію) досліджено вплив вібрації на формування структури виливка. Встановлено, що під впливом вібрації відбувається інтенсифікація гідродинамічних і теплообмінних процесів у кристалізаторі. Вібрація руйнує великі дендрити в процесі затвердіння, їх

уламки потрапляють в розплав, здійснюють запалювальну дію і сприяють зародженню нових центрів кристалізації, що веде до подрібнення макроструктури і скорочення зони стовпчастих кристалів. Результати досліджень наведено у таблицях 3.9, 3.10, 3.11, 3.12, 3.13, та на рисунках 3.7, 3.8 і 3.9.

Таблиця 3.9 – Кінетика кристалізації без впливу вібрації

Товщина кристалізатора, мм Товщина закристалізованого шару, мм	40	50	75
2	190	200	180
5	500	510	490
10	1190	1180	1130
15	2010	1990	1970
20	2920	2960	2940
25		3780	3900

Таблиця 3.10 – Амплітуда коливання 0,25мм

Товщина кристалізатора, мм Товщина закристалізованого шару, мм	40	50	75
2	180	190	200
5	410	420	430
10	1060	1070	1080
15	1830	1840	1850
20	2500	2520	2530
25		3780	3810

Таблиця 3.11 – Амплітуда коливання 0,35мм

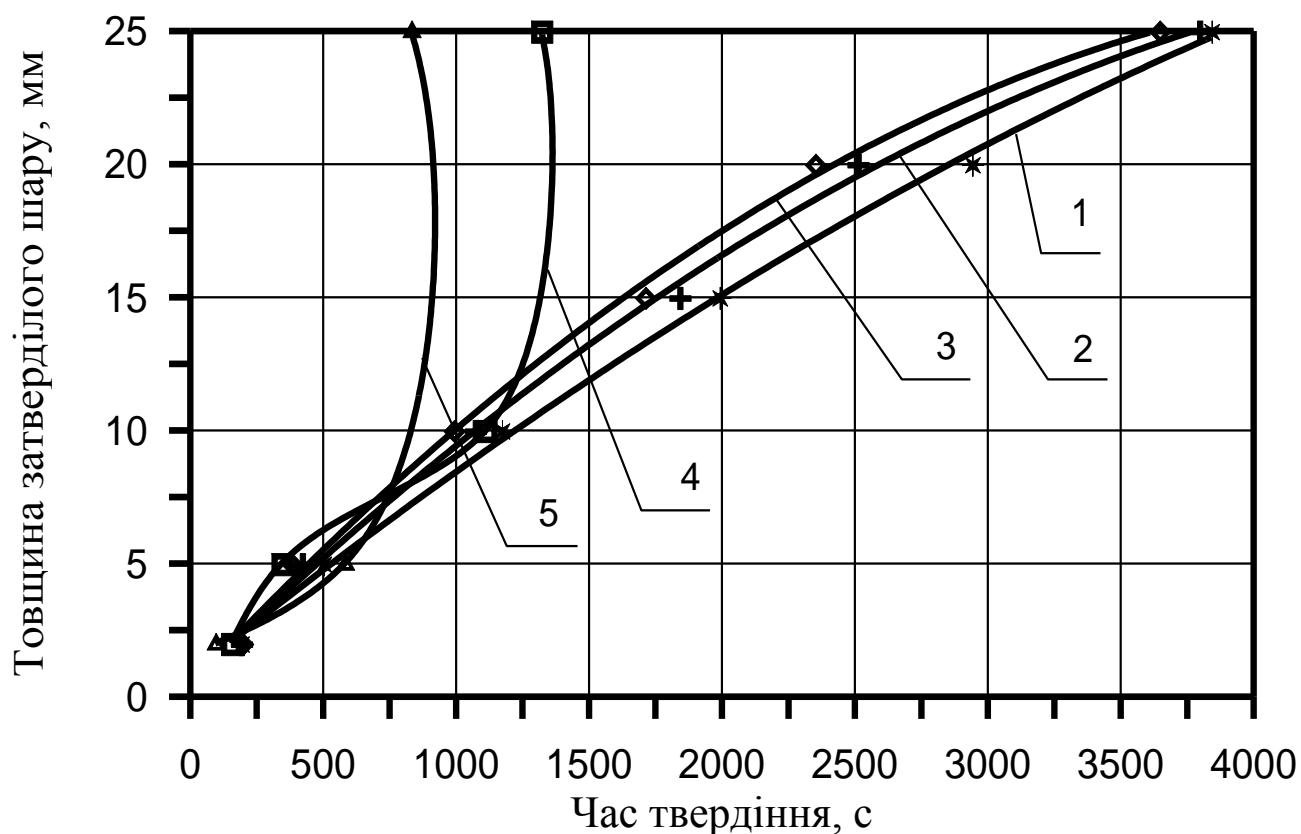
Товщина кристалізатора, мм Товщина закристалізованого шару, мм	40	50	75
2	180	200	210
5	370	380	390
10	980	990	1000
15	1690	1710	1700
20	2340	2360	2350
25		3600	3690

Таблиця 3.12 – Амплітуда коливання 1мм

Товщина кристалізатора, мм	40	50	75
Товщина закристалізованого шару , мм			
2	150	160	160
5	340	350	350
10		1110	1110
15			
20	840		
25		1320	1320

Таблиця 3.13 – Амплітуда коливання 1,5мм

Товщина кристалізатора, мм	40	50	75
Товщина закристалізованого шару , мм			
2	90	100	100
5		580	580
10			
15			
20	570		
25		830	830



1 – без вібрації; 2 – амплітуда коливання 0,25мм; 3 – амплітуда коливання 0,35мм; 4 – амплітуда коливання 1мм; 5 – амплітуда коливання 1,5мм

Рисунок 3.7 – Залежність товщини затверділого шару від часу твердіння під впливом вібрації

При невеликих амплітудах коливання з частотою 50 Гц відбувається поступове осідання зростаючих кристалів на донну частину вилівка і затверділий шар наростає дещо швидше (рис. 3.8). При цьому формуються великі за розміром кристали на вільній поверхні розплаву, які поступово опускаються вниз. Зростання твердіння на бокових стінках відбувається за тим же законом, що і у вихідному тіосульфаті натрію.

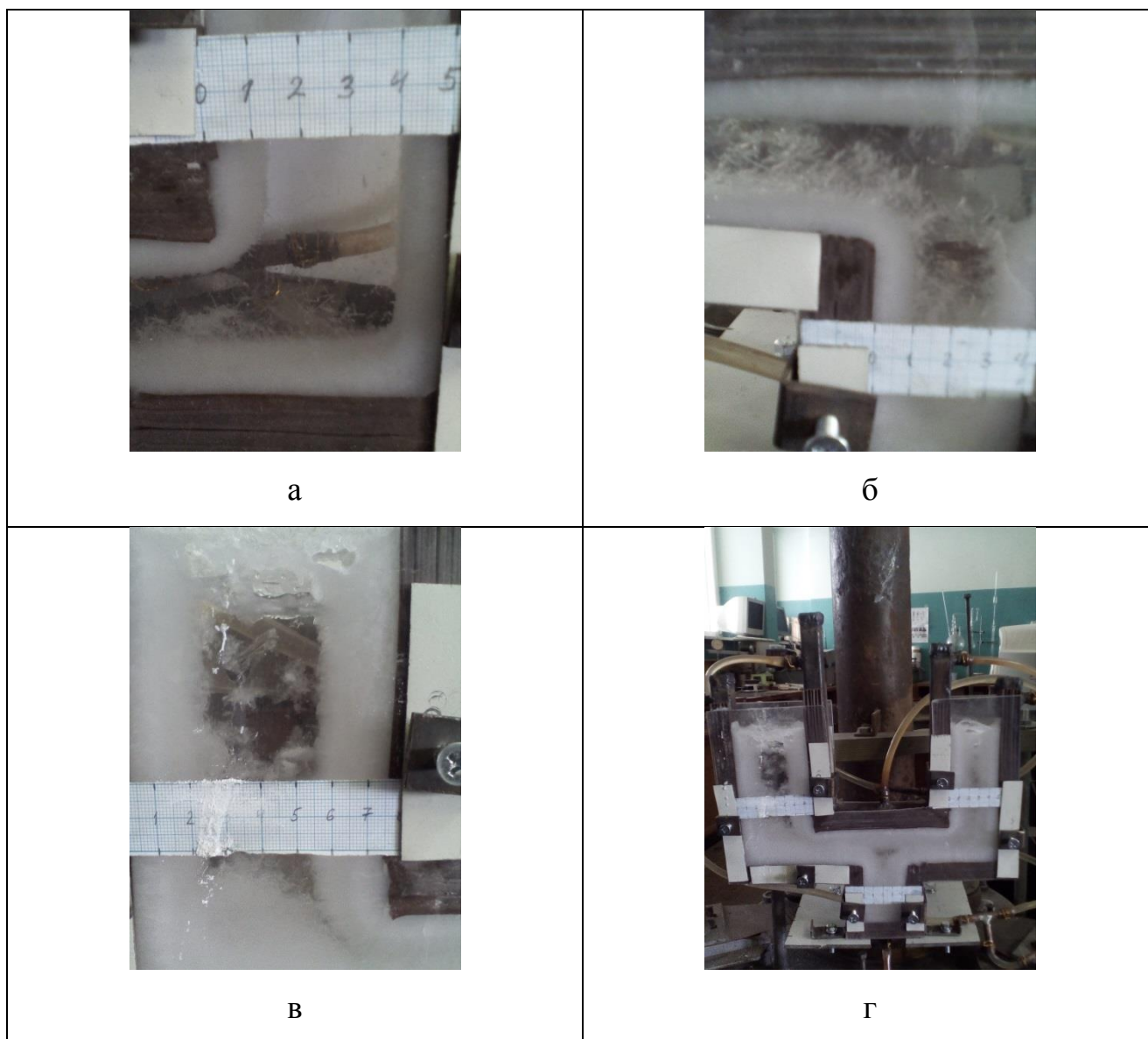


Рисунок 3.8 – Зображення кристалізації моделюючої речовини під дією малої амплітуди вібрації (а, б, в, г)

Збільшення амплітуди (1...1,5 мм) при тій же частоті коливання призводить до того, що зростання твердої фази спостерігається поблизу вертикальних стінок форми. Тобто зростаючі кристали опускаються у донну частину виливка не стільки скільки з вільної поверхні, скільки з твердої фази, яка зростає на бокових поверхнях (рис. 3.9). Можливо, що при цих амплітудах, за рахунок вібрації, утворюються сили, достатні для зламу кристалів.

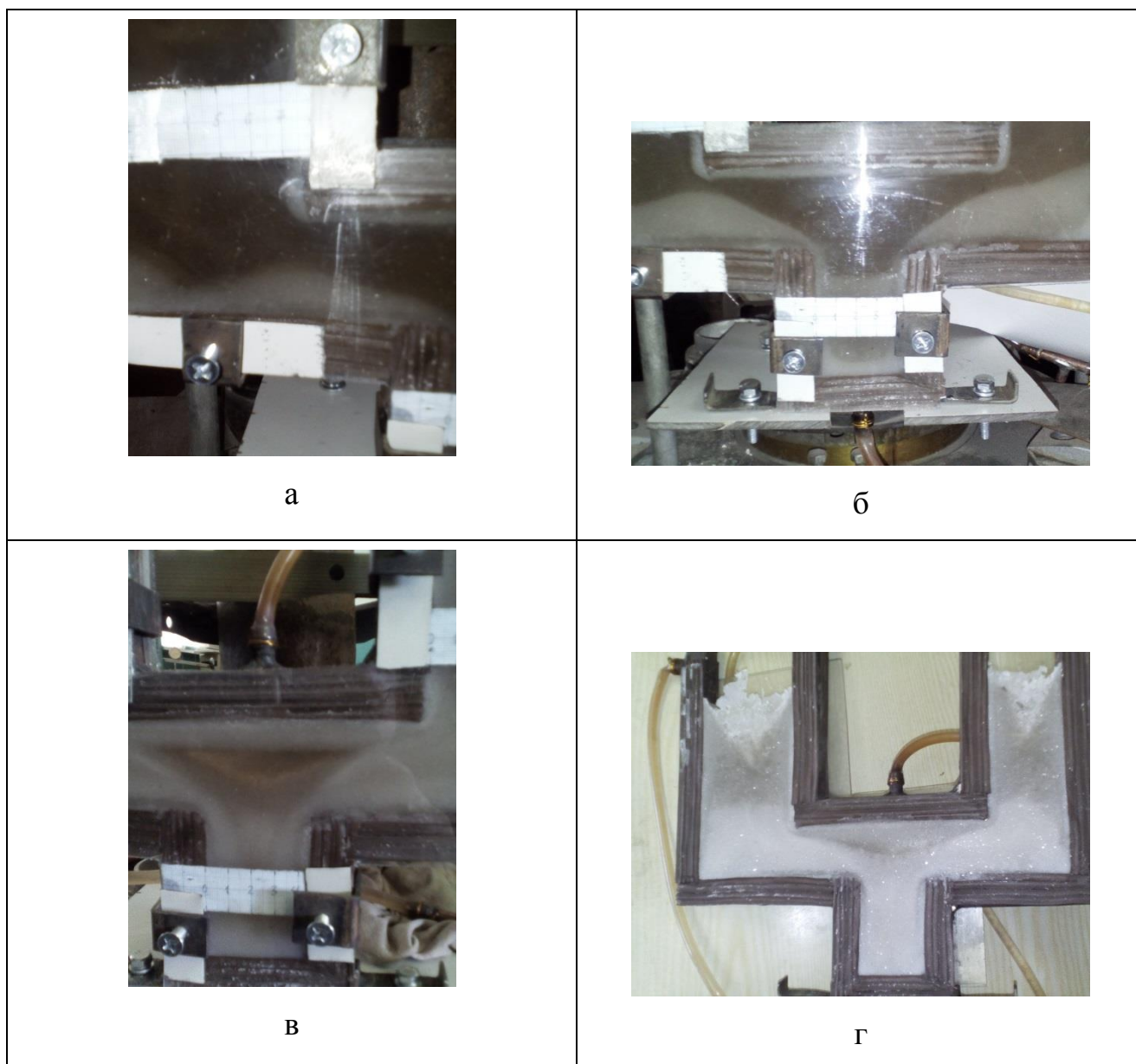


Рисунок 3.9 – Зображення кристалізації тіосульфату натрію під впливом вібрації великої амплітуди (а, б, в, г)

Швидкість кристалізації моделюючої речовини під дією вібрації, амплітудою до 0,35 мм, зростає з 0,0090 до 0,0100 мм/с на початку, і знижується з 0,0040 до 0,0030 мм/с наприкінці (табл. 3.14). Це обумовлено тим, що новоутворені кристали осідають внизу кристалізатора, в результаті чого кристалізація відбувається не по усій висоті кристалізатора одночасно, а направлено (з низу до верху) (рис. 3.8). При амплітудах коливань 1 мм, 1,5 мм відбувається різке збільшення швидкості утворення дрібних кристалів, що осідають (рис. 3.9).

Таблиця 3.14 – Вплив вібрації на швидкість кристалізації

Амплітуда коливання, мм	Швидкість твердіння, мм/с		
	на початку	наприкінці	середня
0	0,0090	0,0040	0,0065
0,25	0,0095	0,0035	0,0065
0,35	0,0100	0,0030	0,0065

Висновки до розділу 3

1. Кристалізація тіосульфату натрію починається від стінок форми і просувається в середину рідини одночасно, практично з однаковою швидкістю, у різних перерізах кристалізатора.

2. Обробка нітридом титану не змінює логарифмічного закону твердіння, відбувається поступове збільшення товщини закристалізованого шару тіосульфату, дещо зменшується усадкова раковина біля вільної поверхні виливка та у тепловому вузлі.

3. Оскільки частинки нітрідів титану та кремнію відрізняються між собою тільки фізичною природою, то однакова зміна швидкості твердіння в залежності від кількості введених частинок вказує на механічне блокування зростаючих кристалів і їх подрібнення.

4. При амплітудах коливання 0,25 мм, 0,35 мм з частотою 50 Гц відбувається поступове осідання зростаючих кристалів на донну частину виливка і затверділий шар наростає дещо швидше, а при амплітудах коливань 1 мм, 1,5 мм, з тією ж частотою, відбувається різке збільшення швидкості утворення дрібних кристалів, що осідають.

4 ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Науково-технічна актуальність теми дослідження

В сучасному світі деталі машин та механізмів виготовляються переважно методами лиття. Виготовлення ливарної продукції передбачає декілька основних процесів, одним з яких є кристалізація розплаву.

Процес кристалізації починається з утворення зародків — центрів кристалізації, якими можуть бути групи елементарних кристалічних ґраток, тугоплавкі неметалічні включення або домішки. Найчастіше кристалізація починається від стінок ливарної форми. Кристали з найбільшою швидкістю ростуть у напрямі, протилежному до напрямку відведення тепла, тобто перпендикулярно до стінок форми. Швидкість тужавіння залежить від швидкості росту кристалів, яка обумовлена як швидкістю охолодження, так і числом центрів кристалізації. Від цього залежить і характер структури, що утвориться.

Враховуючи велику вартість проведення плавок, підготовки зразків і неможливість спостереження кінетики кристалізації і твердіння металевих сплавів, використання методу дослідження кристалізації на прозорих моделях є обґрунтованим, актуальність роботи полягає в тому, що під час процесу кристалізації формується безпосередньо структура майбутнього виливка. В даній роботі розглядаються питання щодо підвищення властивостей вихідної продукції шляхом фізичного впливу на розплав та його модифікування.

4.2 Мета і завдання магістерської дисертації

Метою даної роботи є дослідження кристалізації при фізичному впливі на розплав і утворення дендритної структури на прозорих моделях.

Завданнями даної роботи є:

- вибір конструкції та виготовлення кристалізаторів для дослідження процесів кристалізації;
- спостереження за процесом кристалізації моделюючої речовини з додаванням до її складу тугоплавких дрібнодисперсних частинок;
- спостереження за процесом кристалізації моделюючої речовини під впливом вібрації;
- вивчення результатів спостережень та визначення оптимального методу впливу на розплав при його кристалізації.

4.3 Розрахунок планової собівартості проведення дослідження

Робота виконувалася на кафедрі ливарного виробництва КПІ ім. Ігоря Сікорського.

Планова кошторисна вартість (собівартість) дисертації розраховувалась по наступних статтях витрат:

- заробітна плата науково - дослідницького персоналу;
- єдиний соціальний внесок;
- вартість матеріалів, необхідних для виконання дисертації;
- вартість спеціального обладнання для проведення експерименту;
- інші прямі невраховані витрати;
- накладні витрати.

4.3.1 Визначення заробітної плати науково-дослідницького персоналу

Розрахунок заробітної плати науково-дослідницького персоналу базується на визначенні трудомісткості робіт окремих виконавців та їхньої денної заробітної плати (враховуючи кількість виконавців, їхню кваліфікацію і завантаженість роботою на різних етапах магістерської дисертації).

У підготовці до дослідів та їх виконанні брали участь чотири виконавці: професор, доцент, інженер-дослідник (магістр), навчальний майстер. Для кафедри ливарного виробництва чорних та кольорових металів технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» місячні посадові оклади заробітної плати складають:

- професор – 12828 грн;
- доцент – 12052 грн;
- інженер-дослідник (магістр) – 0 грн;
- навчальний майстер – 4906 грн.

Денна заробітна плата кожного з виконавців визначається як місячна заробітна плата, поділена на середню кількість днів у місяці, що при п'ятиденному робочому тижні становить 21,2. Таким чином, величина денної заробітної плати виконавців складає для:

- професор – 605,1 грн;
- доцент – 568,5 грн;
- інженер-дослідник (магістр) – 0 грн;
- навчальний майстер – 231,4 грн.

У випадку відсутності відповідних розрахункових методик трудомісткості різних етапів виконання магістерської дисертації встановлюється на базі експертних оцінок, які дають провідні фахівці. При цьому магістерська дисертація розглядається як сукупність макроетапів, аналіз кожної окремої операції не проводиться. Результати експертної оцінки трудомісткості етапів магістерської дисертації наведені в таблиці 4.1.

Величина заробітної плати виконавців (ЗП) обчислюється як сума добутків трудомісткості і денної заробітної плати кожного з них:

$$\text{ЗП} = 82 \cdot 605,1 + 16 \cdot 568,5 + 104 \cdot 0 + 35 \cdot 231,4 = 66813,2 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.1 - Трудомісткість макроетапів виконання МД

Макроетапи роботи	Трудомісткість, люд.-дні			
	Професор	Доцент	Інженер-дослідник (магістр)	Науковий майстер
1. Аналіз фахових публікацій за теми	30	-	30	-
2. Обговорення поставлених задач	7	3	7	5
3. Підготовка до проведення експериментів	20	5	40	30
4. Дослідження кристалізацій	20	5	20	-
5. Обговорення результатів	5	3	7	-
Разом за виконавцями теми	82	16	104	35

4.3.2 Визначення розміру єдиного соціального внеску

Згідно з діючим законодавством єдиний соціальний внесок становить 22,0% від загального розміру заробітної платні.

$$B_C = 0,22 \cdot 66813,2 = 14698,904 \text{ грн.}$$

4.3.3 Визначення вартості матеріалів і напівфабрикатів для виконання МД

Для виготовлення кристалізаторів та проведення дослідів були необхідні наступні матеріали наведені в таблиці 4.2

Таблиця 4.2 – Розрахунки витрат на матеріали

Найменування матеріалу	Стандарт, технічні умови	Одиниця виміру	Кількість	Ринкова ціна за одиницю, грн	Сума, грн
1. Тіосульфат натрію	ДСТУ 7259:2012	кг	5	59	295
2. Нітрид титану	ГОСТ 19065-80	г	5	0,15	0,75
3. Нітрид кремнію	ГОСТ 9849-86	г	5	0,05	0,25
4. Труба профільна металева	ГОСТ 8639-82	м	2,5	26,8	67
5. Трубка ПВХ	ГОСТ 19034-82	м	20	5,1	102
6. Пластик листовий	ГОСТ 9590-76	м ²	1	130	130
Загальні витрати на матеріали, грн					595

Транспортно-заготовні витрати приймаємо у розмірі 10% від вартості матеріалів, тоді загальна вартість використаних матеріалів (C_M) складає:

$$C_M = 595 \cdot 1,1 = 654,5 \text{ грн.}$$

4.3.4 Визначення вартості спеціального обладнання і приладів

При виконанні даної роботи було використано обладнання, що є в наявності на кафедрі ливарного виробництва КПІ ім. Ігоря Сікорського.

4.3.5 Визначення вартості робіт і послуг сторонніх організацій

При виконанні цієї магістерської дисертації сторонні організації не приймали участі.

4.3.6 Визначення витрат на службові відрядження

Уся робота була проведена на кафедрі ливарного виробництва КПІ ім. Ігоря Сікорського, службових відряджень не було.

4.3.7 Визначення інших прямих неврахованих витрат

Інші прямі невраховані витрати ($C_{\text{інш}}$) плануються у розмірі 10% від врахованих.

$$C_{\text{інш}} = 0,1 \cdot (66813,2 + 14698,904 + 654,5) = 8216,66 \text{ грн.}$$

4.3.8 Визначення накладних витрат

Норматив відррахувань на накладні витрати на кафедрі ливарного виробництва КПІ ім. Ігоря Сікорського встановлений в розмірі 20% планової суми прямих витрат. Величина накладних витрат (H_B):

$$H_B = 0,2 \cdot (66813,2 + 14698,904 + 654,5 + 8216,66) = 18076,65 \text{ грн.}$$

4.3.9 Визначення планової кошторисної вартості МД

Планова кошторисна вартість МД дорівнює сумі витрат за окремими статтями вартості. Розрахунок вартості наведено в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Калькуляція планової кошторисної вартості

	Найменування калькуляційних статей	Позначення	Сума	
			грн	%
1	Загальна заробітна плата	ЗП	66813,2	61,60
2	Єдиний соціальний внесок	В _С	14698,9	13,55
3	Матеріали, необхідні для виконання МД	С _м	654,5	0,60
4	Спеціальне обладнання для наукових робіт	Соб	-	-
5	Робота і послуги сторонніх організацій	Сстор	-	-
6	Витрати на службові відрядження	Свід	-	-
7	Інші прямі невраховані витрати	С _{інш}	8216,7	7,58
8	Накладні витрати	Н _В	18076,7	16,67
	Всього		108460	100

Згідно з таблицею 4.3 загальна планова кошторисна вартість МД склала:

$$B_{MD}=108460 \text{ грн.}$$

4.4 Визначення очікуваних результатів МД та розрахунок показників економічної ефективності

Дослідження, що проводяться в даній роботі, мають пошуковий та теоретичний характер. Відповідно з цим прямий розрахунок очікуваного річного економічного ефекту надзвичайно складний, оскільки відсутні повні дані відносно сфери використання результатів роботи, а також вихідні дані для розрахунку одночасних та поточних витрат. У такому випадку слід використовувати бальну систему оцінки економічної ефективності за наступними показниками:

- важливість розробки;
- можливість використання результатів;
- теоретичне значення та рівень новизни дослідження;
- складність отриманої розробки.

Частку сумарного річного економічного ефекту, що утвориться за кожною з перелічених шкал, позначають умовно відповідним номеру шкали коефіцієнтом (K_1, K_2, K_3, K_4). Наведемо докладніше систему оцінки за кожною шкалою. Першою розглянемо шкалу важливості розробки.

Коефіцієнт K_1 може приймати наступні значення:

- ініціативна робота, яка не входить до складу комплексної програми та не є завданням директивних органів – 1 бал;
- робота виконується за угодою про науково-технічне співробітництво – 3 бали;
- робота являє собою частину відомчої програми – 5 балів;
- робота являє собою частину комплексної міжвідомчої програми з елементами впровадження результатів – 7 балів;
- робота є частиною міжнародної комплексної програми – 8 балів.

Коефіцієнт K_2 може приймати такі значення:

- результати розробки можна використати тільки в даному підрозділі – 1 бал;
- результати розробки можуть бути використані тільки однією організацією – 3 бали;
- результати розробки можуть бути використані багатьма організаціями – 5 балів.
- результатами розробки можуть користуватися споживачі в межах однієї галузі – 8 балів;
- результатами розробки можуть користуватися споживачі в різних галузях – 10 балів.

Коефіцієнт K_3 може приймати такі значення:

- робота являє собою аналіз, узагальнення або класифікацію відомої

інформації, подібні результати раніше були відомі в досліджуваній галузі – 2 бали;

– під час виконання роботи отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів – 3 бали;

– внаслідок виконання роботи отримана нова інформація, яка частково змінює уявлення про природу досліджуваних процесів – 5 балів;

– внаслідок виконання магістерської дисертації створені нові теорії, методики або що-небудь подібне – 6 балів;

– отримана інформація формує принципово нові уявлення, які не були відомі раніше – 8 балів.

Коефіцієнт K_4 може приймати такі значення:

– роботу виконує один підрозділ, витрати до 10000 гривень – 1 бал;

– роботу виконує один підрозділ, витрати від 10000 до 50000 гривень – 3 бали;

– роботу виконує один підрозділ, витрати від 50000 до 100000 гривень – 5 балів;

– робота виконується багатьма підрозділами, витрати від 100000 до 200000 гривень – 7 балів;

– робота виконується багатьма організаціями, витрати більше 200000 гривень – 9 балів.

Бальна оцінка економічної ефективності МД наведена у табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Бальна оцінка ефективності дослідів

Показники оцінки ефективності	Умовне позначення	Характеристика даної розробки	Кількість балів
1. Важливість розробки	K_1	Робота являє собою частину відомчої програми	5
2. Можливість використання результатів розробки	K_2	Результати розробки можуть бути використані багатьма організаціями	5
3. Теоретична значимість та рівень новизни розробки	K_3	Отримана нова інформація, яка доповнює уявлення про сутність досліджуваних процесів	3
4. Складність дослідження	K_4	Роботу виконує один підрозділ, витрати від 50000 гривень	5

У нашому випадку бальна оцінка ефективності (Б) (згідно табл. 4.4) становить:

$$Б = 5 \cdot 5 \cdot 3 \cdot 5 = 375$$

Умовний річний економічний ефект магістерської дисертації ($E_{\text{ндр}}^y$) визначається :

$$E_{\text{мр}}^y = 500 \cdot Б - E_{\text{н}} \cdot B_{\text{мд}} \quad (4.1)$$

де 500 – умовна вартість одного балу, грн.;

$E_{\text{н}}$ – нормативний коефіцієнт економічної ефективності ($E_{\text{н}} = 0,15 \div 0,50$, для нашого розрахунку обираємо $E_{\text{н}} = 0,25$);

$B_{\text{ндр}}$ – витрати на виконання МД (планова річна кошторисна вартість виконання МД, для нашого розрахунку $B_{\text{мд}} = 108460$ грн).

Таким чином, умовний економічний ефект відповідно (4.1) становить:

$$E_{\text{мд}}^y = 500 \cdot 375 - 0,25 \cdot 108460 = 160385 \text{ грн.}$$

Коефіцієнт економічної ефективності :

$$E_{\text{мд}} = E_{\text{мд}}^y / B_{\text{мд}} \quad (4.2)$$

$$E_{\text{мд}} = 160385 / 108460 = 1,48$$

Отримана розрахункова величина коефіцієнта економічної ефективності дослідів ($E_{\text{д}}=1,48$) свідчить про доцільність виконання даної роботи.

4.5 Висновки до розділу 4

1. Розрахована планова собівартість проведення магістерської дисертації з урахуванням всіх видів витрачених ресурсів.
2. Обґрунтована актуальність та економічна доцільність проведення роботи.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ НА РОБОЧОМУ МІСЦІ

5.1 Охорона праці

Одним із головних напрямків державної політики у сфері охорони праці є забезпечення:

- конституційного права кожного працівника на здорові й безпечні умови праці, створення ефективної системи запобігання нещасним випадкам на виробництві і виникненню професійних захворювань;
- зменшення економічних втрат в результаті виробничого травматизму, аварій, професійних захворювань та надзвичайних ситуацій, внаслідок яких виробництво втрачає професійно підготовлені кадри, несе матеріальні збитки від втраченого або зруйнованого обладнання;
- створення умов, направлених на збереження життя і здоров'я працівників в процесі їх виробничої діяльності.

5.2 Аналіз умов праці

Організація робочого місця формування структури виливка при фізичному впливі на розплав проводилась у лабораторії кафедри «Ливарне виробництво чорних і кольорових металів» НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського».

Площа приміщення лабораторії дорівнює $103,5\text{м}^2$, висота – $3,2\text{м}$, об'єм – $331,2\text{м}^3$.

В лабораторії знаходиться чотири робочих місця:

- площа на одного працівника $S=25,88\text{м}^2$;
- об'єм на одного працівника $V=82,8\text{м}^3$.

Згідно з нормами СН 245-71 площа і об'єм робочого приміщення на кожного працівника повинні бути не меншими $4,5\text{м}^2$ та 15м^3 відповідно.

Отже, розміри приміщення по відношенню до кількості робочих місць в ньому повністю відповідають вимогам СН 245-71.

5.3 Шкідливі виробничі фактори

Шкідливий виробничий фактор – це фактор, вплив якого на організм людини за певних умов може призвести до захворювання, зниження працездатності або негативного впливу на здоров'я нащадків і навіть до смерті в результаті захворювання.

Ступінь впливу електромагнітного поля на організм людини залежить від діапазону частот, інтенсивності та тривалості дії, характеру випромінювання (неперервне чи модульоване), режиму опромінення, розміру опромінюваної поверхні тіла, індивідуальних особливостей організму.

Електромагнітні поля можуть викликати біологічні та функціональні несприятливі ефекти в організмі людини. Функціональні ефекти виявляються у передчасній втомлюваності, частих болях голови, погіршенні сну, порушеннях центральної нервової та серцево-судинної систем. При систематичному опроміненні електромагнітним полем спостерігаються зміни кров'яного тиску, сповільнення пульсу, нервово-психічні захворювання, деякі трофічні явища, такі як випадання волосся, ламкість нігтів. Сучасні дослідження вказують на те, що електромагнітний спектр випромінювання, впливаючи на центральну нервову систему, є вагомим стрес-чинником.

5.4 Вимоги безпеки та захист від електромагнітного випромінювання

Вимоги безпеки при роботі з електромагнітними полями повинні задовольняти наказ №476 Міністерства охорони здоров'я України Про затвердження Державних санітарних норм та правил при роботі з джерелами електромагнітних полів.

До методів захисту від електромагнітного випромінювання можна віднести такі:

- ізолювати об'єкти, що є джерелами електромагнітного випромінювання таким чином, щоб звести до мінімуму можливість опромінювання людей;
- перебування людей в зоні дії електромагнітного поля обмежується мінімально необхідним для проведення робіт часом;
- віддалити робочі місця на максимально допустиму відстань від джерела випромінювання;
- потужність джерела електромагнітного поля повинна бути мінімально необхідною;
- екранування джерел випромінювання та робочих місць;
- дистанційне керування установкою, до складу якої входить джерело електромагнітного випромінювання;

Не слід допускати до роботи з джерелом електромагнітного випромінювання осіб, вік яких становить менше 18 років та людей, що мають протипоказання за станом здоров'я.

Одним із найбільш ефективних технічних засобів захисту від електромагнітних випромінювань, що знаходить широке застосування у промисловості, є екранування. Для екранів використовуються, головним чином, матеріали з великою електричною провідністю: мідь, латунь, алюміній та його сплави, сталь. Екрани виготовляються із металевих листів або сіток у вигляді замкнутих камер, шаф чи кожухів, що мають свою систему заземлення.

Принцип дії захисних екранів базується на поглинанні енергії випромінювання матеріалом з наступним відведенням в землю, а також на відбиванні її від екрана.

Як засоби індивідуального захисту від електромагнітних випромінювань застосовуються комбінезони, халати та захисні окуляри. Матеріалом для комбінезонів та халатів слугує спеціальна радіотехнічна тканина, в структурі якої тонкі металеві нитки утворюють сітку. Для захисту очей використовують

спеціальні радіозахисні окуляри, на скло яких нанесено тонку прозору плівку напівпровідникового олова.

5.5 Висновки до розділу 5

1. Визначено, що розміри приміщення по відношенню до кількості робочих місць в ньому повністю відповідають вимогам СН 245-71.

2. Визначено, що електромагнітні поля можуть викликати біологічні та функціональні несприятливі ефекти в організмі людини, тому потрібно слідувати спеціальним правилам поведінки та захисту при роботі з джерелами випромінювання.

6 БІЗНЕС-ПРОЕКТ

6.1 Команда

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського». Інженерно-фізичний факультет. Кафедра ливарного виробництва чорних та кольорових металів.

Лідер команди:

Могилатенко В.Г. (д.т.н., проф.)

Генератор ідеї:

Могилатенко В.Г. (д.т.н., проф.)

Демиденко Д.А. (студент)

Виконавці:

Могилатенко В.Г. (д.т.н., проф.)

Демиденко Д.А. (студент)

6.2 Назва проекту

«Формування структури виливка при фізичному впливі на розплав»

6.3 Короткий опис проекту

Пришвидщення процесу кристалізації розплаву призводить до подрібнення структури майбутнього виливка. Також модифікувати, тобто подрібнити, структуру можна шляхом введення тугоплавких дрібнодисперсних добавок, які в свою чергу виступають центрами кристалізації. Також додатковими центрами кристалізації слугують кристали, що виростили на стінках форми та були зруйнованими завдяки фізичному впливу, наприклад, вібрації.

Все це призводить до підвищення механічних та експлуатаційних властивостей виливків (деталей).

6.4 Бізнес-модель

6.4.1 Коштовий продукт

Моделююча речовина, за допомогою якої спостерігали за кінетикою кристалізації, - тіосульфат натрію.

6.4.2 Сегмент споживачів (потенційні клієнти)

Споживачі ринку технології отримання виливків з більш високими характеристиками та властивостями є промислові підприємства виробники ливарної продукції. В Україні є досить багато заводів та підприємств, які тісно пов'язані з ливарним виробництвом та процесами покращення своєї продукції:

- ТОВ «Білоцерківський ливарний завод» (м. Біла Церква);
- ПАТ «Артем» (м. Вишневе);
- ДП «Дарницький вагоноремонтний завод» (м. Київ);
- ТОВ «Жмеринське РП Агромаш» (м. Жмеринка);
- ПАТ «Завод Фрегат» (м. Первомайськ, Миколаївська обл.)

6.4.3 Канали збуту

Використовуються прямі канали збуту. Безпосередній контакт з потенційними покупцями через візити на підприємство і презентацію товару. Контакт через тематичні та галузеві виставки та конференції. Збут через інтернет-ресурси (інтернет-магазини).

6.4.4 Взаємодія зі споживачами

Підтримка інформаційних інтернет-ресурсів: сайт проекту, блог новин проекту, інтернет-магазин, використання «Програми лояльності» до клієнта, в тому числі гарантійні зобов'язання якості продукції.

6.4.5 Дохід (монетизація)

Отримання доходу від продажу технології підвищення якості литва на етапі кристалізації розплаву.

6.4.6 Ключові види діяльності

Виробництво виробів. Наукова діяльність. Маркетингова діяльність.

6.4.7. Ключові партнери

Підприємство, яке забезпечує виробничу базу. Партнери з надання логістичних і маркетингових послуг.

6.4.8 Витрати

Витрати на логістику, маркетинг, підтримку інтернет-ресурсів.

6.5 Дослідження ринку

Наразі конкурентів на ринку в даній сфері діяльності не існує.

6.6 Маркетингова стратегія просування

Маркетингова стратегія просування проекту складається з:

- просування проекту в мережі інтернет;
- участь на конференціях та виставках;
- проведення презентацій для потенційних покупців;
- просування технології підвищення якості литва на етапі кристалізації розплаву на ринок України, з подальшим виходом на міжнародний ринок.

6.7 Елементи фінансового плану

6.7.1 Опис бізнес-проекту

Мета проекту – отримання прибутку шляхом продажу технології підвищення якості литва на етапі кристалізації розплаву.

Актуальність проекту – існує проблема ускладнення умов експлуатації деталей, що призводить до недостатніх механічних та експлуатаційних характеристик матеріалів та їх надійності. Для її вирішення запропоновано різні методи фізичного впливу на розплав, що несуть за собою підвищення властивостей та характеристик литих деталей.

6.7.2 Фінансовий план

На поточному етапі існування проекту фінансовий план в необхідному обсязі не прораховувався.

6.8 Подальші кроки в проекті

6.8.1 Наукова діяльність

Дослідження та робота над покращенням якості литих деталей. Робота над охоронними документами за результатами дослідження.

6.8.2 Організаційна діяльність

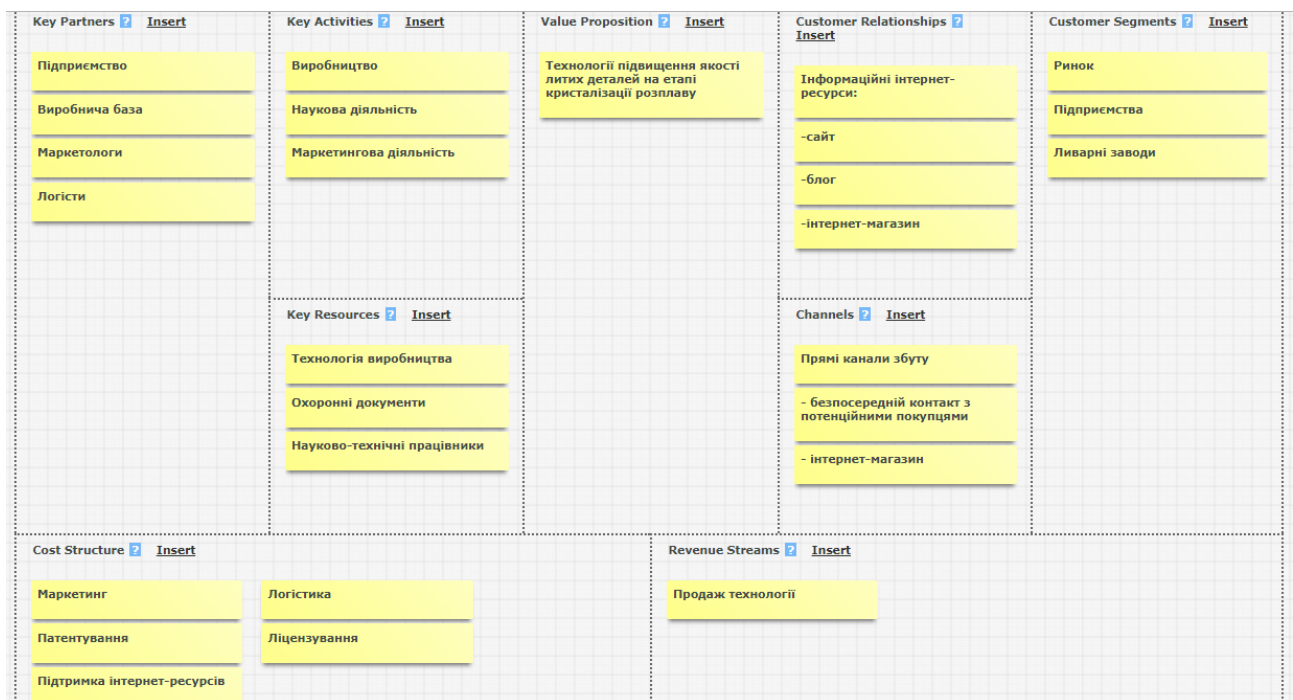
Розширення проекту: збільшення чисельності команди проекту та розширення «функціоналу» команди. Зацікавлення та залучення до співпраці менеджерів з продажу.

6.8.3 Маркетингова діяльність

Подальша популяризація проекту за всіма напрямками. Залучення до співпраці маркетингових фірм. Міжнародна маркетингова діяльність.

6.8.4 Комерційна діяльність

Презентації та продаж технологій на ринку України. Вихід на міжнародний ринок.



ВИСНОВКИ

Після аналізу інформації та проведення експериментів по кристалізації моделюючої речовини при фізичному впливі на розплав можна зробити такі висновки:

1. Існує гомогенне і гетерогенне утворення зародків кристалізації. Гомогенна система – термодинамічна система, всередині якої немає поверхонь поділу, що відділяють частини системи одна від одної. Гетерогенна система – це неоднорідна термодинамічна система, яка складається з однорідних фаз, розділених поверхнею поділу.

2. Дендритна кристалізація характеризується виділенням з розчину недобудованих монокристалів, що утворилися на багатьох центрах, зародки ростуть з нерівномірною швидкістю і переважно у напрямках інтенсивного тепловідбору, де швидкість росту максимальна.

3. Вібрація руйнує великі дендрити в процесі тверднення, їх уламки потрапляють в розплав, здійснюють запалювальну дію і сприяють зародженню нових центрів кристалізації, що веде до подрібнення макроструктури і скорочення зони стовпчастих кристалів. Вібрація дозволяє подрібнити зерна в 3 рази. Одночасно відбувається дегазація і зниження ліквіації.

4. Завдяки ультразвуковій кавітації і акустичним течіям підвищується змочуваність твердої фази в розплаві і більш повно реалізуються у вигляді активних центрів кристалізації наявні в рідкому металі дисперсні тверді частинки.

5. Електричний струм впливає на формування дендритної структури алюмінієвого сплаву. Пропускання електричного струму при кристалізації сплаву призводить до зменшення розміру дендритних осередків.

6. Наукове дослідження кристалізації прозорих моделей проводиться шляхом моделювання з використанням спеціально розроблених комп'ютерних програм, що реалізують нові різновиди та методики кінетичного моделювання та удосконаленої методики моделювання дифузійних процесів за методом

сіток. Вирішення задачі оптимізації процесу кристалізації в часі дозволить значно підвищити точність прогнозування та реалізації запланованих властивостей матеріалів і речовин, що утворюються в процесі кристалізації і управляти цим процесом.

7. Визначено методики проведення дослідних кристалізацій з додаванням дрібнодисперсних частинок тугоплавких металів і впливу вібрації на кінетику кристалізації моделюючої речовини.

8. Кристалізація тіосульфату натрію починається від стінок форми і просувається в середину рідини одночасно, практично з однаковою швидкістю, у різних перерізах кристалізатора.

9. Обробка нітридом титану не змінює логарифмічного закону твердіння, відбувається поступове збільшення товщини закристалізованого шару тіосульфату, дещо зменшується усадкова раковина біля вільної поверхні виливка та у тепловому вузлі.

10. Оскільки частинки нітридів титану та кремнію відрізняються між собою тільки фізичною природою, то однакова зміна швидкості твердіння в залежності від кількості введених частинок вказує на механічне блокування зростаючих кристалів і їх подрібнення.

11. При амплітудах коливання 0,25 мм, 0,35 мм з частотою 50 Гц відбувається поступове осідання зростаючих кристалів на донну частину виливка і затверділий шар наростає дещо швидше, а при амплітудах коливань 1 мм, 1,5 мм, з тією ж частотою, відбувається різке збільшення швидкості утворення дрібних кристалів, що осідають.

12. Розрахована планова собівартість проведення магістерської дисертації з урахуванням всіх видів витрачених ресурсів.

13. Обґрунтована актуальність та економічна доцільність проведення роботи.

15. Визначено, що електромагнітні поля можуть викликати біологічні та функціональні несприятливі ефекти в організмі людини, тому потрібно

слідувати спеціальним правилам поведінки та захисту при роботі з джерелами випромінювання.

РЕКОМЕНДАЦІЇ

Оскільки у даній роботі розглядалась обробка розплаву введенням тугоплавких дрібнодисперсних частинок та вплив вібрації сталої частоти на кінетику кристалізації моделюючої речовини, то рекомендовано продовжити дослідження у напрямку зміни частоти коливань вібрації та поєднання впливу вібрації з введенням тугоплавких дрібнодисперсних частинок різної дисперсності у рідину.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Стрикленд-Констэбл Р.Ф. Кинетика и механизм кристаллизации. Пер. с англ. 2008. - 310 с. (Strickland-Constable R.F. Kinetics and mechanism of crystallization. Academic Press, London and New York)
2. Технология тонких пленок. Том 2. Справочник. Под редакцией Л. Майссела, Р. Глэнга. Перевод с английского под редакцией М.И. Елинсона, Г.Г. Смолко. (Москва: Издательство «Советское радио». Редакция литературы по электронной технике) Предоставил формат: Sergege, 2008
3. Вундерлих Б. Физика макромолекул. Том 1. Кристаллическая структура, морфология, дефекты. - 2010
4. Адамсон А.Н. Физическая химия поверхностей. Москва, 2011 г., под ред. канд. физ. -мат. наук З. М. Зорина, канд. физ. -мат. наук В. М. Муллера, 568 стр.
5. Физика и химия твердого состояния органических соединений [Текст] : пер. с англ. / под ред. Ю. А. Пентина. 2011. - 738 с. : ил. - Библиогр. в конце разд. - Алф. указ.: с.714-721. - Предм. указ.: с. 722-730 . - Пер. изд. : Physics and chemistry of the organic solid state. - 4.39 p.
6. Фізико-хімічні процеси плазмового напilenня та управління параметрами, що відповідальні за підвищення експлуатаційних характеристик композиційних систем матриця-покриття [Текст] : автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.02.01 / Копилов Вячеслав Іванович ; Нац. акад. наук України, Ін-т надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля. - К., 2007. - 32 с.
7. Фетисов Г.П., Карпман М.Г., Матюнин В.М. и др. Материаловедение и технология металлов – М.: Высшая школа, 2009. – 640 с.
8. Бокштейн С.З. Строение и свойства металлических сплавов.- 2010. - ст. 496
9. Мейер, Клаус. Физико-химическая кристаллография [Текст] / Пер. с нем. О. П. Никитиной ; Под ред. Е. Д. Щукина и Б. Д. Сумма. - Москва : Металлургия, 2003. - 296 с.

10. Лабораторный практикум по теоретической электрохимии: учебно-практическое пособие / НГТУ им. Р.Е.Алексеева, Н.Новгород, 2011

11. Медведев С. А Введение в технологию полупроводниковых материалов. Учебн. пособие для специальности «Полупроводники и диэлектрики» вузов. М., «Высшая школа», 2008. 504 с. с илл.

12. Хамский Е. В., Подозерская Е. А., Фрейдин Б. М., Быкова А. Н. Кристаллизация и физико-химические свойства кристаллических веществ. Л. Наука 2009г. 136с.

13. Палатник Л.С, Папилов И.И.Эпитаксиальные пленки. 2011. 480 с.

14. Летюк Л.М., Журавлев Г.И. Химия и технология ферритов. Учебное пособие для вузов. — Л.: Химия. 2003. — 256 с.

15. Фольмер, М. Кинетика образования новой фазы [Текст] / М. Фольмер. — М. : Наука. Гл. ред. Физ.&мат. лит.,2006. — 208 с.

16. Л.С.Палатник, И.И.Папилов. Ориентированная кристаллизация, — М. : «Металлургия». 2008 — 408 с.

17. Дьяченко С.С. Образование аустенита в железоуглеродистых сплавах. Монография. - М.: Металлургия, 2012. - 128 с.

18 . Химия твердого тела. Теория и приложения: В 2-х ч. Ч. 1. Перевод с английского канд. хим. наук А. Р. Кауля и канд. хим. наук И. Б. Куценка под редакцией академика Ю. Д. Третьякова.- 2009. - (SOLID STATE CHEMISTRY AND ITS APPLICATIONS ANTHONY R. WEST, Department of Chemistry University of Aberdeen John Wiley & Sons Chichester-New York Brisbane-Toronto-Singapore.)

19. Барре П., Кинетика гетерогенных процессов. М., Мир, 2004, ст. 192.

20. Мейер К.Н. Физико-химическая кристаллография. 2008. ст. 303

21. Щукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А. Коллоидная химия. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Высшая школа, 2004. — 445 с.

22. Фольмер М., Кинетика образования новой фазы, пер. с нем., М., 2006. ст. 188.

23 . Казакова Л.П. Твердые углеводороды нефти. Монография. — М.: Химия, 2007. — 176 с.

24 . Богданов М.Ф., Переверзев А.Н. Депарафинизация нефтяных продуктов. М.: Гостоптехиздат, 2011. - 247 с.

25. Болховитинов Н.Ф. Металловедение и термическая обработка. Издание 6. - 2008. - №6

26. Пикунов М.В., Десипри А.И. 'Металловедение' - Москва: Металлургия, 2010 - с.256

27. Межидов В.Х., Эльдарханов А.С. структурные неоднородности образовавшиеся при действии упругих колебаний на кристаллизующийся расплав – В сб. : тезис докладов Всесоюзной технической конференции «Пути развития научно- технического прогресса в НГП ». М.:ЦПНТОНГП им. Губкина. 2006, с. 122

28. СИМАНОВСКИЙ В. М., МАКСЮТА И. И., КВАСНИЦКАЯ Ю. Г., ПРИТУЛЯК А. С., МИХНЯН Е. В. Теплофизические особенности формирования структуры отливок, полученных методом направленной кристаллизации .– 2010.

29. В.Попович, А.Кондир, Е. Плешаков та ін. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство: Практикум: Навч. посібник. — Львів: Світ, 2008. — 422 с

30.<http://metal-archive.ru/sverhmelkoe-zerno/798-poluchenie-sverhmelkozernistoy-struktury-metallov-i-splavov-pri-kristallizacii.html>.

31. Полин И.В., Максимов В. М. Особенности поведения бора при кристаллизации слитков сплавов титана. – В кн.: Титан. Металловедение и технология. Т. I. М., ВИЛС, 2007. с. 119-122.

32. Ясинский К.К., Глазунов С.Г. Влияние модифицирования на свойстваливоков из титановых сплавов. – В кн.: Титан. Металловедение и технология. Т. I. М., ВИС, 1997. с. 129-130.

33. Комаров О.С., Розенберг Е.В., Урбанович Н.И. Особенности модифицирования различных типов железоуглеродистых сплавов//Литье и металлургия – 2015. - №2. с. 24-28

34. Голиков А.Ю., Головин Е.Д., Савенко Т.И., Кузнецов В.А., Черепанов А.Н. Модифицирование алюминиевых сплавов мелкодисперсными тугоплавкими частицами с целью повышения их механических свойств. – 2009. с. 350.

35. Плешаков Е., Кондир А., Попович. Технология конструкционных материалов и материаловедение. – Львов: Мир, 2008. – 422с.

36. А.С. Нурадїнов, А.С. Ельдарханов, О.В. Ноговїцин, Є.Д. Таранов. Вплив вібрації на формування безперервнолитої блюмінгової заготовки//Металознавство та обробка металів – 2013. - №3. – С. 15 – 23.

37. Задиранов А.Н., Кац А.М., Теоретические основы кристаллизации металлов и сплавов. – Москва, 2008. – 194 с.

38. Добаткин В.И., Эскин Г.И. Литье с применением ультразвуковой обработки расплава, 2011, 436 с.

39. А.М. Бибииков И.П.Халтурин В.И.Зарембо Управление структурообразованием и свойствами литых материалов слабым акустическим воздействием//Литейное производство – 2007. - №5. – С. 12 – 14.

40. Г.В. Степанов, Г.В. Чижик, А.І. Бабуцький, А.І. Позднякова Використання обробки імпульсним електричним струмом для зниження схильності до крихкого руйнування мало вуглецевої сталі// Металознавство та обробка металів – 2013. - №4. – С. 36 – 41.

41. Тимченко С.Л. Влияние электрического тока на дендритную структуру алюминиевого сплава – Москва. 2013. – 13 с.

42. Эльдарханов А.С., Баталов М.А. исследование эффективности действия различных видов вибрации на структуру и свойства

кристаллізуючого сталю слитка. В сб.: процессы разлики, модефицирования и кристаллизации стали и сплавов. – 2010, 4.1, с. 23-26.

43.Євременко А.П., Кобзева А.І., Стороженко Т.І. Дослідження способу управління мікроструктурою чавунного виливка шляхом дій на нього в процесі кристалізації електричного струму//ВІСНИК – 2016. - №1. – С. 38-42.

44. кац А.М., Шадек Е.Г. Теплофизические основы непрерывного лиття слитков цветных метал лов и сплавов. – Москва. 1983. – 208 с.

45. М.А. Слажнев, Ю.П. Скоробагатько Імпульсна МГД обробка алюмінієвих розплавів з використанням керованого пінч-ефекту// Металознавство та обробка металів – 2013. - №2. – С. 7 – 12.

46. Хацаюк М.Ю. Индукционная установка с МГД воздействием на высоколегированные алюминиевые сплавы в процес се их приготовления и разлики. – Красноярск. 2013. – 22 с.

47. Schorsch, S. Measuring multidimensional particle size distributions during crystallization [Text] / S. Schorsch, T. Vetter, M. Mazzotti // Chemical Engineering Science. – 2012. – Vol. 77. – P. 130–142. doi: 10.1016/j.ces.2011.11.029

48. Vetter, T. Attainable Regions in Crystallization Processes: Their Construction and the Influence of Parameter Uncertainty [Text] / T. Vetter, C. L. Burcham, M. F. Doherty // Computer Aided Chemical Engineering. – 2014. – Vol. 34. – P. 465–470. doi: 10.1016/b978-0-444-63433-7.50062-6

49. Samad, N. A. F. A. Control of Process Operations and Monitoring of Product Qualities through Generic Model-based in Batch Cooling Crystallization [Text] / N. A. F. A. Samad, R. Singh, G. Sin, K. V. Gernaey, R. Gani // Computer Aided Chemical Engineering. – 2010. – Vol. 28. – P. 613–618. doi: 10.1016/s1570-7946(10)28103-8

50. Головин, Ю. И. Импульсное радиоизлучение при кристаллизации воды [Текст] / Ю. И. Головин, А. А. Шибков, М. А. Желтое, М. А. Татарко // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2006. – Вып. 2, Т. 1. – С. 158–160.

51. Петренко В.Р. Автоматизація управління технологічними процесами виробництва об'ємних Cz - Si-монокристалів: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.13.07 / В.Р. Петренко ; Нац. техн. ун-т України "Київ. політехн. ін-т". — К., 2009. — 39 с. — укр.

52. Расщупкіна М.С. Міжфазні поверхні в процесах кристалізації розплавів: автореф. дис... канд. фіз.-мат. наук: 01.04.07 / М.С. Расщупкіна ; Дніпропетр. нац. ун-т ім. Олеся Гончара. — Д., 2009. — 20 с. — укр.

Додаток А

Х Міжнародна науково-технічна конференція «Нові матеріали і технології в машинобудуванні – 2018»

Могилатенко В.Г., Демиденко Д.А.

(КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ)

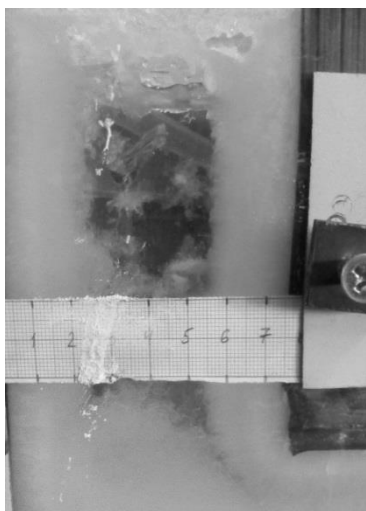
ТВЕРДІННЯ ПРИ ОБРОБЦІ РОЗПЛАВУ ТІОСУЛЬФАТУ НАТРІЮ
ВІБРАЦІЄЮ

Подрібнення структури можна досягти перемішуванням, обробкою розплаву або форми при формуванні виливка вібрацією, ультразвуком та іншими фізичними впливами на метал, що кристалізується.

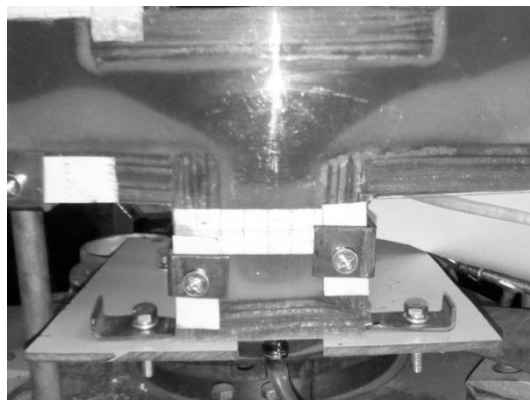
Вібрація є способом примусового перемішування розплаву або незатверділої частини виливка. Вібрація руйнує великі дендрити в процесі твердіння, їх уламки потрапляють в розплав, сприяють зародженню нових центрів кристалізації, що веде до подрібнення макроструктури і скорочення зони стовпчастих кристалів і пришвидшення кристалізації. Ефективна дія вібрації проявляється при наявності деякої початкової твердої скоринки на стінці форми. Процес може відбуватися або при вібрації заливального пристрою, або при вібрації форми.

Візуалізація процесу твердіння розплаву можлива при використанні у якості моделюючого середовища різних речовин, в тому числі і тіосульфату натрію.

Дослідили вплив вібрації з частотою 50 Гц і амплітудами коливання 0,25мм, 0,35мм, 1мм і 1,5мм на формування структури виливка з тіосульфату натрію. Встановлено, що під впливом вібрації відбувається інтенсифікація гідродинамічних процесів у кристалізаторі.



а



б

Рисунок. – Зображення кристалізації тіосульфату натрію під впливом вібрації малої (а) і великої (б) амплітуди

При невеликих амплітудах коливання з частотою 50 Гц наростання твердої фази на стінках виливниці відбувається за логарифмічним законом твердіння, спостерігається поступове осідання зростаючих кристалів у донну частину виливка і затверділий шар наростає дещо швидше ніж без вібрації. При цьому формуються великі за розміром кристали на вільній поверхні розплаву, які поступово опускаються вниз. Зростання твердіння на бокових стінках відбувається за тим же законом, що і у вихідному тіосульфаті натрію.

Збільшення амплітуди (1...1,5 мм) при тій же частоті коливання призводить до того, що зростаючі кристали опускаються у донну частину виливка не стільки з вільної поверхні, скільки з твердої фази, яка зростає на бокових поверхнях виливниці (рисунок). Можливо, що при цих амплітудах, за рахунок вібрації, утворюються сили, достатні для зламу кристалів.

Додаток Б

VII Науково-практична конференція молодих вчених «Нові ливарні технології і матеріали у машинобудуванні»

Могилатенко В.Г., Демиденко Д.А.

(ФТІМС НАН України, м. Київ)

ТВЕРДІННЯ ПРИ ОБРОБЦІ РОЗПЛАВУ ТІОСУЛЬФАТУ НАТРІЮ
ДИСПЕРСНИМИ ТУГОПЛАВКИМИ ЧАСТИНКАМИ

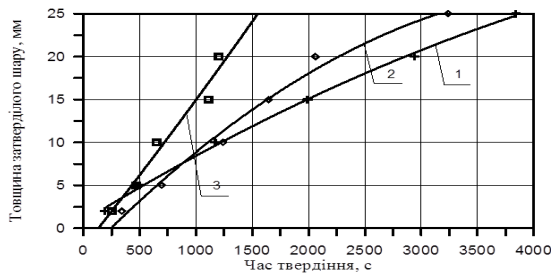
Останнім часом підвищення механічних характеристик сплавів на основі алюмінію здійснюють додаванням дисперсних порошків тугоплавких металів та їх поєднань різної дисперсності. Найбільші такі частинки можуть виконувати роль центрів кристалізації, або обмежувати ріст фаз в процесі твердіння. З іншого боку, подрібнити структуру можна перемішуванням, обробкою розплаву або вилівка вібрацією, ультразвуком та іншими фізичними впливами на метал, що кристалізується.

Проведення дослідів з використанням рідкого металу в теперішній час потребує великих економічних витрат, тому більшість дослідників використовують комп'ютерне та фізичне моделювання процесів для визначення загальних характеристик вилівка або технології його отримання з наступною постановкою натурного експерименту на рідкому металі.

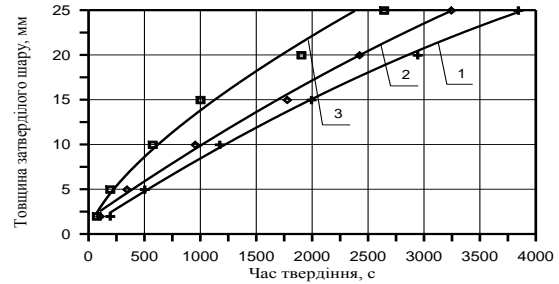
Візуалізація процесу твердіння розплаву можлива при використанні у якості моделюючого середовища різних речовин, в тому числі і тіосульфату натрію.

Обробку дисперсними частинками нітриду титану (розмір частинок за паспортом $<0,1$ мкм) тіосульфату натрію проводили замішуванням протягом не менше трьох хвилин при температурі 60°C . Одержаний розплав заливали у кристалізатор. Обробку нітридом титану проводили в кількості 0,01 об.% та 0,02 об.%, а нітридом кремнію – в кількості 0,005 об.% та 0,01 об.%.

Результати наведено на рисунку.



а



б

Рисунок. – Залежність товщини затверділого шару від часу твердіння моделі:

а: 1 – без нітриду титану; 2 – 0,01% нітриду титану; 3 – 0,02% нітриду титану

б: 1 – без нітриду кремнію; 2 – 0,005% нітриду кремнію; 3 – 0,01% нітриду кремнію

Обробка нітридом титану і нітридом кремнію не змінює логарифмічного закону твердіння, відбувається поступове збільшення товщини закристалізованого шару тіосульфату, дещо зменшується усадкова раковина біля вільної поверхні виливка та у тепловому вузлі.

Оскільки частинки нітридів титану та кремнію відрізняються між собою тільки фізичною природою, то однакова зміна швидкості твердіння в залежності від кількості введених частинок вказує на механічне блокування зростаючих кристалів і їх подрібнення.

Таким чином підтверджено механізм впливу дисперсних частинок на подрібнення первинно закристалізованих фаз у сплавах.